BREVE HISTORIA DE LA CIENCIA

PATRICIA FARA

Lectulandia

Breve historia de la ciencia es un relato fascinante de los acontecimientos, las historias y los intereses que se esconden tras la teoría abstracta y los experimentos esotéricos que componen la historia oficial de la ciencia. Lejos de glorificar a los científicos, tradicionalmente encumbrados como héroes, el libro nos cuenta la verdadera historia de hombres y mujeres que necesitaban ganar dinero para vivir, cometían errores y, a veces, competían sin piedad con sus rivales para lograr el éxito.

Este brillante y compacto análisis demuestra que el poderoso fenómeno global que es hoy en día la ciencia se debe no siempre a haber estado en lo correcto sino a que la gente ha aceptado que estaba en lo correcto.

Lectulandia

Patricia Fara

Breve historia de la ciencia

ePub r1.0
Titivillus 28.04.2019

Título original: *Science: A Four Thousand Year History*
Patricia Fara, 2009
Traducción: Francesc Pedrosa

Editor digital: Titivillus
ePub base r2.1

más libros en lectulandia.com

Índice de contenido

Cubierta

Breve historia de la ciencia

Agradecimientos

Introducción

I Orígenes
- 1 - Sietes
- 2 - Babilonia
- 3 - Héroes
- 4 - Cosmos
- 5 - Vida
- 6 - Materia
- 7 - Tecnología

II Interacciones
- 1 - Eurocentrismo
- 2 - China
- 3 - Islam
- 4 - Intelecto
- 5 - Europa
- 6 - Aristóteles
- 7 - Alquimia

III Experimentos
- 1 - Exploración
- 2 - Magia
- 3 - Astronomía
- 4 - Cuerpos
- 5 - Máquinas
- 6 - Instrumentos
- 7 - Gravedad

IV Instituciones
- 1 - Sociedades
- 2 - Sistemas

3 - Carreras
4 - Industrias
5 - Revoluciones
6 - Racionalidad
7 - Disciplinas

V Leyes
1 - Progreso
2 - Globalización
3 - Objetividad
4 - Dios
5 - Evolución
6 - Poder
7 - Tiempo

VI Invisibles
1 - Vida
2 - Gérmenes
3 - Rayos
4 - Partículas
5 - Genes
6 - Sustancias químicas
7 - Incertidumbres

VII Decisiones
1 - Guerra
2 - Herencia
3 - Cosmología
4 - Información
5 - Rivalidad
6 - Medio ambiente
7 - Futuros

Epílogo

Autora

Imágenes
Créditos de las imágenes

Fuentes

Notas

Para Clive

Agradecimientos

Hace mucho tiempo que perdí la cuenta de las personas que se pusieron a reír cuando les hablé de este proyecto. Una de las que se tomó la propuesta seriamente fue mi antiguo supervisor, Jim Secord, que organizó en 1991 la conferencia «The Big Picture» en Londres, a la que asistí cuando era estudiante de doctorado suya. Los debates que pude escuchar aquel día me alentaron a escribir un nuevo tipo de historia de la ciencia, aunque no tenía ni idea de que acabaría por editarse como Breve historia de la ciencia. *Así que mi mayor deuda de gratitud es con Jim, por alentarme constantemente desde que le conocí, hace más de veinte años, y por ofrecerme numerosas y útiles sugerencias durante la planificación y redacción de este libro. También quiero dar las gracias a mis amigos y colegas que han aportado ideas y correcciones, en especial a Jon Agar, Christopher Cullen, David Edgerton, Michael Fara, Lauren Kassell, Nick Hopwood, Eleanor Robson, Liba Taub, Clive Wilmer y dos evaluadores anónimos que me ofrecieron valiosos comentarios en diversos borradores. Y, por supuesto, este libro no habría sido posible sin la ayuda y colaboración de mis agentes Tracy Bohan y Andrew Wylie, mi editor en Oxford University Press, Matthew Cotton, y mi corrector, Charles Lauder, Jr. En la sección de «Fuentes» he enumerado los documentos y libros específicos que he utilizado en cada capítulo como referencia, tanto de análisis como de información. Aunque solo he añadido notas para las citas, espero que esas referencias sirvan como testimonio de lo mucho que debo al trabajo de otros historiadores. Aunque las opiniones y errores de este libro se me pueden atribuir por completo, me gusta concebirlo como una empresa conjunta destinada a llevar los últimos avances académicos a un público más amplio.*

Introducción

Quizá la frase «ver para creer» sea cierta, pero eso depende de la forma de mirar. La Figura 1[f1] nos puede parecer instintivamente errónea, aunque no existe una razón intrínseca por la que el mundo no deba mostrarse así. Poner el norte en la parte de arriba es un convenio de los antiguos cartógrafos europeos, que veían el mundo desde su propia posición estratégica y ni siquiera sabían de la existencia de Australia o de la Antártida. Esta imagen, creada por un australiano, no es tanto un mapa como una declaración política, y también ofrece una metáfora para esta *Breve historia de la ciencia*.

Escribir historia no es solo conocer los hechos y consignar los acontecimientos en el orden correcto, también implica reinterpretar el pasado —redibujar el mundo— eligiendo opciones sobre lo que se debe incluir y lo que se debe dejar fuera. En los libros tradicionales de historia de la ciencia, los científicos son alabados como genios situados por encima del común de los mortales. Como corredores olímpicos, se pasan el testigo de la verdad abstracta de un gran intelecto a otro, ajenos a la corrupción de las preocupaciones mundanas y dominados por su sed insaciable por el conocimiento absoluto. Mediante meticulosos experimentos, razonamiento lógico y, ocasionalmente, un salto de inspiración, desvelan los secretos de la naturaleza para poner la verdad al descubierto.

Breve historia de la ciencia no habla sobre héroes idealizados, sino sobre personas reales, hombres (y algunas mujeres) que tenían que ganarse la vida, que cometían errores, que pisoteaban a sus rivales y que a veces se aburrían y se ponían a hacer otra cosa. Este libro explora el poder científico, con el argumento de que a veces no basta con tener razón: para que una idea prevalezca, son las personas las que tienen que decir que es correcta. Esta nueva versión de la historia de la ciencia desafía la idea de la superioridad europea mostrando cómo la ciencia se ha desarrollado a partir de conocimientos y habilidades desarrollados en otros lugares del mundo. En

lugar de prestar atención a esotéricos experimentos y teorías abstractas, *Breve historia de la ciencia* explica la ciencia como parte del mundo real de la guerra, la política y los negocios.

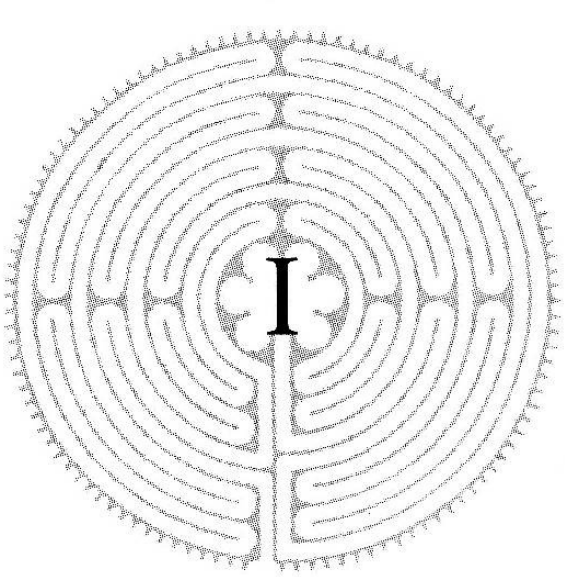
No es fácil marcar una frontera de la ciencia, a diferencia de lo que ocurre con las regiones de un mapa. La filosofía griega, la astronomía china y la anatomía del Renacimiento no solo se parecen poco entre sí, sino que también están muy lejos de los actuales proyectos de investigación; sin embargo, de algún modo parecen relacionados. Es difícil definir qué es la ciencia. Una de las definiciones obvias, aunque irritante, es decir que «ciencia es lo que hacen los científicos», pero incluso esa definición cojea, ya que la palabra «científico» no se inventó hasta 1833. Escribir sobre la prolongada historia de la ciencia significa rastrear el origen de algo que no ha existido hasta hace relativamente poco tiempo, de modo que implica tener en cuenta a personas que hacían algo que no se parecía a lo que hacen los científicos actualmente. Muchos de los personajes de este libro no aparecen porque fuesen científicos, sino porque desarrollaron una serie de habilidades —navegar a través de las estrellas, purificar minerales, preparar medicamentos con hierbas, construir barcos, diseñar cañones— que contribuyeron a la actual empresa científica global. Al mirar hacia el pasado desde un nuevo ángulo, decidir las preguntas adecuadas es tan importante como hallar nueva información. En lugar de preocuparse por saber qué es o qué no es la ciencia, hay cuestiones más interesantes a las que prestar atención. La religión (de cualquier tipo), ¿inhibe la ciencia o la alienta? La alquimia y la magia, ¿son completamente independientes de la ciencia? ¿Han sido realmente tan escasas las mujeres en ciencia, o los historiadores han distorsionado la fotografía al confeccionar demasiados relatos de hombres intrépidos explorando el femenino mundo de la naturaleza? ¿Es posible que haya distintos tipos de ciencia y que todos ellos sean válidos? Y, si había distintos tipos de ciencia en Patna, Persia y Pisa, ¿qué relación tenían entre sí y con la ciencia moderna?

Estas preguntas no tienen una respuesta clara, pero *Breve historia de la ciencia* explica por qué son importantes y sugiere formas de enfrentarse a ellas. Y luego está la pregunta más fundamental: ¿por qué la ciencia se ha hecho tan importante? Hombres como Kepler, Galileo y Newton eran brillantes, de eso no cabe duda, pero si ahora son célebres en todo el mundo es porque la propia ciencia se ha convertido en una disciplina poderosa. En la actualidad parecen más importantes de lo que lo fueron para sus propios contemporáneos, que otorgaban una mayor consideración a los expertos clásicos y bíblicos. Isaac Newton declaró que se alzaba sobre los hombros de

gigantes, pero cuando publicó su libro sobre gravedad en 1687, muy pocas personas consideraron que valiese la pena leerlo. A principios del siglo XXI, la ciencia dominaba el mundo y Newton se había convertido en uno de los personajes más famosos de todos los tiempos. En este libro se examina cómo llegó a suceder una cosa así, y para ello se analizan los cambios conjuntos de la ciencia y la sociedad, investigando los intereses financieros, las ambiciones imperiales y las iniciativas académicas que contribuyeron a hacer de la ciencia una disciplina global.

En las versiones más maniqueas del mundo, la ciencia se coloca aparte, como si se tratase de un tipo único de actividad intelectual que genera verdades irrebatibles. Y sin embargo, lo que se toma por hecho científico no solo depende del mundo natural, sino también de dónde y cuándo y quién efectúa la investigación. El conocimiento científico nunca pasa de un entorno a otro de forma neutral, sino que sufre constantes adaptaciones y absorciones: no solo es historia, sino también geografía. Estos procesos de transformación perpetua siguen en marcha, de modo que la trascendencia de la ciencia seguirá sufriendo alteraciones.

Paradójicamente, a medida que el éxito de la ciencia se incrementa, los no expertos son cada vez más escépticos. Ahora que los gobiernos empiezan a preocuparse por el calentamiento global, la manipulación genética y la energía nuclear, parece claro que los intereses científicos, comerciales y políticos están interrelacionados. En cierto modo, la historia de la ciencia es la historia de todo: la ciencia, la tecnología y la medicina modernas están inextricablemente unidas en una gigantesca telaraña que engloba también a todas las demás actividades humanas. *Breve historia de la ciencia*, como el mapa del mundo australiano, tiene la intención de desafiar las ideas preconcebidas, que pueden parecer naturales, pero que han sido creadas artificialmente; su finalidad es provocar reflexión y debate, no solo ofrecer información. Con su mirada al pasado pretende averiguar cómo hemos llegado hasta el presente, con la única finalidad de mejorar el futuro.



Orígenes

¿Dónde y cuándo se puede situar el inicio de la ciencia? No se trata de una pregunta trivial, sino que se halla en el núcleo de lo que puede ser la ciencia. Si miramos hacia atrás, podemos elegir ideas y descubrimientos que más adelante se incorporaron a una iniciativa científica global. Pero, en su momento, formaban parte de otros proyectos, como hallar el tiempo más auspicioso para las festividades religiosas, ganar guerras, confirmar profecías bíblicas y, sobre todo, sobrevivir. Este libro empieza por las antiguas civilizaciones mesopotámicas, cuyos abundantes conocimientos prácticos han sido transmitidos hasta la ciencia moderna. Los consejeros de las cortes de Babilonia, no desarrollaron su pericia en matemáticas, astronomía o medicina por su interés en física teórica, sino porque pretendían adivinar el futuro. En contraste, los filósofos griegos preferían construir imponentes sistemas con el objetivo de explicar el cosmos. Aunque en la actualidad muchas de sus teorías nos parecen estrafalarias, sufrieron continuas modificaciones y asimilaciones, y dominaron en primer lugar el pensamiento en el islam y posteriormente en Europa hasta bien entrado el siglo XVIII. Los mismos cimientos de la ciencia se fundamentan en las técnicas y conceptos que ahora solemos menospreciar como mágicos o pseudocientíficos.

1 - Sietes

> Te amaba, de modo que tomé en mis manos la marea de los hombres y escribí mi testamento en el cielo con estrellas para obtener tu Libertad, digna casa de los siete pilares, y que tus ojos brillasen para mí al llegar.
>
> T. E. Lawrence, *Los siete pilares de la sabiduría* (1935)

El siete ha sido siempre un número muy especial. El libro sagrado más antiguo en sánscrito, el *Rig Veda*, describe siete estrellas, siete continentes concéntricos y siete ríos de soma, la bebida de los dioses. Según el Antiguo Testamento judío y cristiano, el mundo se creó en siete días, y la paloma de Noé regresó siete días después del diluvio. De forma similar, los egipcios trazaron siete caminos hacia el cielo, Alá creó un cielo y una tierra islámicos en siete niveles y el Buda recién nacido dio siete pasos. El siete tiene también algunas propiedades matemáticas singulares. Muchas de ellas pueden parecer esotéricas para los no iniciados, y entre las más simples está el que solo se necesiten siete colores para colorear un mapa en un toro (una rosquilla) sin que dos zonas adyacentes tengan el mismo color.

De ser un número especial a convertirse en un número mágico basta un paso. Para los numerólogos, el siete simboliza la creación, porque es la suma del espiritual tres y el material cuatro; para los alquimistas, se pueden establecer paralelismos claros entre los siete escalones del templo del Rey Salomón y las siete etapas sucesivas de purificación química y espiritual. Los gatos persas tienen siete vidas, siete son las deidades de la buena suerte en Japón y una cura judía tradicional para la fiebre suponía tomar siete espinas de siete palmeras y siete clavos de siete puertas.

¿Ciencia o superstición? A veces no es fácil diferenciar la una de la otra. Cuando los astrónomos de la Antigüedad observaban los cielos, veían siete planetas circundando a la Tierra. El Sol y la Luna eran los más obvios, pero descubrieron otros cinco: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno (el siguiente planeta, Urano, no se identificaría hasta finales del siglo XVIII). Las habilidades necesarias para buscar planetas y calcular cómo se mueven en el

cielo son importantes en la ciencia moderna. Por otro lado, el objetivo de los primeros observadores de los cielos no era comprender el funcionamiento del Universo, sino intentar hallar una relación entre los patrones de movimiento de las estrellas y los acontecimientos importantes en la tierra, como hambrunas, inundaciones o la muerte de un rey.

De modo que el nombre «científicos» no parece correcto. Pero ¿es razonable llamarlos magos o astrólogos? Algunos de sus dictámenes suenan tan vagos como los de los modernos horóscopos de los periódicos. Veamos estos dos ejemplos de Asiria: «Si Venus sale temprano, el rey tendrá una larga vida; si se alza tarde, el rey de nuestra tierra morirá pronto». O este otro: «Si la Luna está rodeada por un halo y las Pléyades (una constelación de siete estrellas visible a simple vista) se encuentran sobre él, indica que en ese año las mujeres darán a luz hijos varones»[1].

Es fácil reírse de esto, pero no estamos hablando de intérpretes de las hojas de té ni de místicos observando bolas de cristal: se trataba de astrónomos expertos que efectuaban detallados cálculos basados en la observación meticulosa del firmamento. Actualmente, la astrología es ridícula, pero para numerosas civilizaciones —incluida Europa occidental, hasta el siglo XVII— las personas formaban parte integral del Universo, de forma que los acontecimientos singulares en los cielos se relacionaban con sucesos inusuales en la superficie de la Tierra. De igual modo que una de las metas de la ciencia es hallar modelos de relaciones, los adivinos de la Antigüedad intentaban encontrar sentido a sus vidas mediante el examen del mundo que les rodeaba. Creían en un Universo armónico e interconectado, en el que los dioses, las estrellas y los seres humanos estaban unidos y actuaban al unísono.

La astronomía moderna reposa sobre los cimientos de datos recogidos por estos expertos observadores de las estrellas que eran también astrólogos. Sus observaciones, en general, eran sólidas, a pesar de que sus teorías hayan sido desechadas. A muchos científicos les cuesta aceptar que sus propios conocimientos hunden sus raíces en creencias que califican de magia. Para aquellos cuya fe es el progreso, las supercherías mágicas han quedado eliminadas por el razonamiento científico; la magia y la ciencia se encuentran claramente en polos opuestos, y la sola idea de que puedan compartir un origen común roza el sacrilegio. Pero este tranquilizador punto de vista no siempre coincide con la realidad histórica.

Pensemos en Pitágoras, el griego que dio su nombre a uno de los más famosos teoremas de la geometría (aunque no fue él quien lo inventó). Este

célebre matemático estaba influenciado por visiones místicas de la armonía cósmica y del número siete. Según la tradición, un día Pitágoras pasaba junto a la forja de un herrero y notó que el martilleo tenía una calidad melódica. Tras ciertas investigaciones y una gran cantidad de inspiración, se dio cuenta de que el peso de un martillo influye en la nota que produce en el yunque, y de aquí dedujo unas relaciones numéricas sospechosamente sencillas e ingeniosas entre pesos, tonos y longitudes de cuerdas. Pitágoras había sucumbido a la seducción de los siete intervalos de la escala musical: igual que otros filósofos griegos, creía que era más importante unificar matemáticamente el cosmos que efectuar observaciones detalladas. Pitágoras impuso al Universo patrones regulares dependientes del número siete, y sostenía que las órbitas de los planetas estaban gobernadas por las mismas reglas aritméticas que los instrumentos musicales.

El arco iris de Isaac Newton es un ejemplo aún más espectacular de la relación entre ciencia y magia a través del poder del siete. Más de dos mil años después de Pitágoras, Newton fue el defensor más acérrimo de la experimentación precisa. Sin embargo, tenía una creencia tan arraigada en el universo armónico de los griegos que dividió el arco iris en siete colores para que se correspondiese con la escala musical. Anteriormente, aunque había cierta disparidad de opiniones, la mayor parte de artistas mostraba arco iris de cuatro colores. Resulta, claro está, imposible tomar una decisión objetiva acerca del número correcto, porque el espectro de la luz visible varía de forma continua: no existe un límite exacto entre bandas de colores diferentes, lo que muestra que la forma de pensar en el arco iris afecta a la forma de verlo. En la actualidad, los experimentos de Newton con prismas se celebran como la base de la óptica moderna y el número mágico siete ha pasado a formar parte de la teoría científica del color. Pero seamos honrados: ¿alguien puede diferenciar entre azul, añil y violeta?

Como Newton se ha convertido en un paradigma de genio científico, quedaría extraño decir que lo que practicaba no era ciencia. Por otra parte, los científicos modernos desprecian muchas de sus actividades calificándolas de ridículas o incluso de anticientíficas. Aparte de su inquietud por los números y por la interpretación bíblica, Newton llevó a cabo experimentos químicos estudiando minuciosamente los textos antiguos y tomando nota de sus propias reflexiones y descubrimientos. No se trataba de una simple afición: para Newton, la alquimia era un camino esencial hacia el conocimiento y el perfeccionamiento personal, e incorporó sus resultados en sus teorías

astronómicas. El ejemplo de Newton ilustra la dificultad de situar con precisión el comienzo de la ciencia.

Lewis Carroll sabía lo complicado que puede ser decidir cuándo debe empezar una historia. «¿Por dónde desea que empiece, Su Majestad?», preguntó el Conejo Blanco. Alicia esperó la respuesta. «Empieza por el principio», dijo el Rey con gravedad, «y continúa hasta que llegues al final: entonces te paras». La ciencia no tiene un principio definido, y los historiadores, como el Conejo Blanco, deben elegir su propio punto inicial. Pero ninguno parece ser el ideal.

Una de las posibilidades es decidirse por 1687, cuando Newton publicó su gran obra sobre mecánica y gravedad. Pero eso significaría dejar fuera a nombres tan célebres como Galileo Galilei, William Harvey y Johannes Kepler. La opción de fecha más habitual es 1543, cuando Nicolás Copérnico sugirió que el Sol, y no la Tierra, ocupa el centro de nuestro sistema planetario. Sin embargo, se pueden plantear diversas objeciones a esta opción, en particular que excluye a los griegos, cuyas ideas ejercieron una extraordinaria influencia hasta bien entrado el siglo XVIII. Entonces, empezar por Grecia sería otra posibilidad. Se dice que Tales de Mileto, que vivió en la costa de Turquía hace unos dos mil quinientos años, fue el primer verdadero científico. Fue un experto geómetra y fue capaz de predecir satisfactoriamente un eclipse; pero, si lo elegimos, dejaríamos fuera a todos sus importantes predecesores, como los egipcios y los babilonios.

Todo el mundo tiene predecesores. Cuando los astrónomos griegos intentaban resolver el problema de establecer un origen, volvieron la vista atrás un milenio hacia Babilonia y el reino de Nabonassar, que patrocinó diversos proyectos para efectuar observaciones precisas. De modo que quizá la mejor solución sería retroceder el máximo posible y examinar la prueba más antigua que indique una actividad que se pueda calificar de «científica». Por toda Europa encontramos antiguas ruinas que muestran que pueblos ya desaparecidos habían seguido los movimientos del sol y las estrellas. Por desgracia, apenas nos ofrecen información sobre los orígenes de la ciencia.

La más famosa de estas ruinas es Stonehenge, el espectacular círculo de piedras situado en el sur de Inglaterra en donde los druidas aún se reúnen para celebrar el alba del solsticio de verano. Muchos arqueólogos han afirmado que Stonehenge había sido un colosal observatorio astronómico, alineado con precisión con el paso del Sol por el cielo. Mediante complicadas técnicas estadísticas, han asignado significado a la posición de los huecos y las rocas, incluso a aquellas que han sido movidas y alteradas durante los últimos cinco

milenios. Pero, si se pasa el tiempo suficiente estudiando patrones aleatorios, siempre es posible encontrar algún tipo de orden; en la actualidad, casi todos los expertos están de acuerdo en que, aunque Stonehenge y otros monumentos similares hacían una referencia simbólica al cielo, se trataba de una simbología ritual y no una búsqueda de conocimientos astronómicos precisos. Descifrar misterios de la Antigüedad puede ser una tarea fascinante, pero no tiene por qué ayudar a explicar los orígenes de la ciencia.

Otro de los problemas es la supervivencia del saber. Por ejemplo, varias de las antiguas civilizaciones de Latinoamérica poseían un conocimiento sofisticado de las estrellas, pero no se transmitió a las generaciones posteriores. Para trazar una historia de la ciencia continua desde el pasado hasta el presente, la búsqueda del origen debe centrarse en el norte de África y en el Mediterráneo oriental. Hace aproximadamente cinco mil años, cerca de un milenio antes de que el monumento de Stonehenge se convirtiese en un centro de culto, los faraones egipcios ordenaban la construcción de otras proezas de la ingeniería igualmente impresionantes: las pirámides. Estos antiguos egipcios solían orientar sus pirámides hacia el Sol, aunque, igual que los constructores de Stonehenge, no tenían un interés especial en efectuar observaciones precisas del firmamento. Para ellos, lo que realmente importaba era comprender el comportamiento del Nilo, que era esencial para la irrigación de sus cosechas. En su calendario, el año se medía por las fases de la Luna o el paso del Sol, pero estaba dividido en tres estaciones según la pauta de inundaciones del Nilo.

Este libro da comienzo en una época similar, pero más al este, en Mesopotamia, que en aquella época era una fértil región situada entre dos ríos en lo que actualmente es Irak. Los babilonios transmitieron a sus sucesores un legado indeleble para la cultura científica moderna. Y digo indeleble en un sentido literal: en lugar de escribir sobre el frágil papiro, los babilonios utilizaban tablillas de arcilla, tan duraderas que en la actualidad aún sobreviven millares de ellas. Así, aunque los babilonios fueron anteriores a los filósofos de Grecia, la cantidad de pruebas materiales de los escritos de aquellos es muy superior.

El pensamiento babilonio acerca del Universo sigue afectándonos en gran medida en la actualidad. Desarrollaron técnicas matemáticas complejas, elaboraron registros de las estrellas y efectuaron predicciones. Los observadores posteriores pudieron heredar el conocimiento de los babilonios acerca del cielo, que constituye la base de la ciencia astronómica y también la estructura de la vida cotidiana en la actualidad. Gracias a los babilonios, las

semanas tienen siete días —que se corresponde con el intervalo entre las fases de la luna—, los minutos tienen sesenta segundos y las horas, sesenta minutos. Puede que este antiguo método de registrar el paso del tiempo no sea el más adecuado, pero está firmemente consolidado: durante la Revolución Francesa se introdujo un sistema más racional de días de diez horas y semanas de diez días, pero pronto cayó en desuso.

Los calendarios eurocéntricos poseen otra notable característica irracional: los años dan comienzo con el nacimiento de Cristo, a pesar de que la historia de la humanidad se extiende mucho más allá de ese convencional año cero. Imaginemos un viaje hacia atrás en el tiempo, atravesando esa división artificial hasta una época simétrica a la nuestra, en el siglo XXI antes de Cristo. Ese es el punto en el que se inicia este libro. Se trata de una elección personal, está claro; pero es el único tipo de elección posible, porque —a pesar de lo que le dijese el Rey a Alicia— la ciencia no tiene un principio definido.

2 - Babilonia

> La estupidez del mundo es tan superlativa que, cuando nos aquejan las desgracias, normalmente producto de nuestros excesos, echamos la culpa al sol, la luna y las estrellas… Mi padre se entendió con mi madre bajo la cola del Dragón y la Osa Mayor presidió mi nacimiento, de donde resulta que soy duro y lascivo. ¡Bah! Habría salido el mismo si me hubieran bastardeado mientras lucía la estrella más virgen de todo el firmamento.
>
> William Shakespeare, *El rey Lear* (1605-1606)

Hace unos cuatro milenios, en la cuenca mesopotámica tuvo lugar un cambio en el poder. En lugar de pequeñas ciudades-estado independientes, emergió un nuevo reino centrado en Babilonia, una ciudad situada en la margen del río Eufrates, algo más de cien kilómetros al sur del actual Bagdad. Los babilonios heredaron una invención especialmente valiosa: la escritura cuneiforme, que ya llevaba en uso durante unos dos mil años. La madera y la piedra eran bienes escasos, de modo que se fabricaban tablillas de arcilla, el material habitual de construcción, para almacenar información mediante el marcado de caracteres en forma de cuña con un punzón o estilo. Estos textos antiguos representan los orígenes de la matemática moderna.

La deducción de información detallada a partir de tablillas de arcilla es una tarea extremadamente ardua. Los historiadores deben enfrentarse, no solo al trabajo de decodificar un idioma que les es ajeno escrito en caracteres arcanos, sino que deben desenterrar y reconstruir trozos de tablillas dañadas a partir de montones de escombros. Aunque se han descubierto cientos de miles de tablillas, muchas más siguen enterradas o se han perdido para siempre, así que este trabajo es similar al de reconstruir una gran biblioteca a partir de unas cuantas páginas rasgadas. La situación empeoró a causa de los arqueólogos europeos que saqueaban las ruinas en busca de trofeos, no de información. Arrancados del suelo de Mesopotamia que los había conservado durante milenios, sus hallazgos se enviaron a distantes museos para ser exhibidos en vitrinas. Por suerte, algunas de las tablillas acabaron almacenadas en sótanos, envueltas en papeles de periódico cuyas fechas han ayudado a establecer los yacimientos de los que proceden.

Para los europeos, los orígenes de Babilonia estaban envueltos en un aura de leyendas. Hasta hace trescientos años, la propia ubicación de la ciudad era poco clara, e incluso parece que los famosos Jardines Colgantes nunca existieron (aunque es posible que hubiese otros menores, más hacia el norte). Las excavaciones sistemáticas no se iniciaron hasta mediados del siglo XIX. En aquella época, Babilonia aún estaba cubierta por un manto mitológico, hasta el punto que el compositor Giuseppe Verdi la utilizó como ubicación simbólica de *Nabucco*, su ópera política en la que atacaba el domino austríaco de su Italia natal. Estrenada en Milán en 1842, *Nabucco* relata la dramática historia de un novelado rey Nabucodonosor, que se convierte al judaismo cuando los reprimidos israelitas derrocan al tirano de Babilonia. Aunque Verdi y sus contemporáneos no sabían casi nada acerca de la realidad de Babilonia, la legendaria ciudad evocaba un misterioso telón de fondo para su moderna alegoría acerca del dominio extranjero sobre Italia.

Gradualmente, a medida que los arqueólogos acababan con parte de la mística a base de descifrar pruebas concretas, se hicieron evidentes los logros científicos de esta antigua civilización. Los equipos de diversos países competían por la recuperación de valiosos objetos, que enviaban a sus países en grandes cantidades para satisfacer las demandas de ávidos coleccionistas privados o para mostrarlos en museos (uno de los envíos acabó en el fondo del Tigris). Los expertos en la escritura cuneiforme recogían, interpretaban y clasificaban innumerables tablillas que contenían información acerca de pesos, superficies y posiciones de estrellas. Alrededor de 1950, aunque estos descifradores seguían acumulando material, parecía que ya no podían ir más allá de copiar más tablas de multiplicaciones y debatir sobre la mejor forma de traducirlas en ecuaciones algebraicas modernas.

En la década de 1980, los historiadores decidieron abandonar esta ingrata labor y empezar a hacerse otro tipo de preguntas. En lugar de buscar más objetos y más detalles, los expertos comenzaron a interpretar los elementos antiguos de formas nuevas y a intentar comprender la vida y el pensamiento de los babilonios. Si se examinan cuidadosamente, las tablillas de arcilla revelan una información que va mucho más allá de los números y las palabras atrapados en su superficie. Mediante la recreación de su uso, los especialistas en Mesopotamia han podido llegar a importantes conclusiones sobre la vida cotidiana y sobre cómo afectó a la ciencia futura.

Las tablillas de arcilla pueden parecer muy distintas de los legajos, pero los babilonios sabían lo que era la burocracia. Aparte de la conservación de registros, sus predecesores habían desarrollado técnicas matemáticas

esenciales para administrar y organizar la sociedad, construir sistemas de irrigación y dividir parcelas. Las élites de la burocracia, asociadas con los gobernantes locales, ejercían el control, y estos centros de poder independientes estaban vinculados entre sí por el mismo sistema de escritura y la misma matemática. Los estudiantes, no solo debían sobresalir en aritmética, sino que también debían saber manejar equipos como varas de medida y sondas de prospección. Para captar la atención de sus discípulos, los profesores desarrollaron escenarios ficticios para relacionar la matemática abstracta con el mundo real del comercio, la agricultura y la guerra. Por ejemplo, en un intercambio imaginario de cartas, un emisario informa a su rey de cómo está intentando —sin éxito— paliar una hambruna mediante la importación de grano. Las sumas sospechosamente sencillas evidencian que se trata de un texto para la enseñanza, no de un caso real:

> Con una tasa de intercambio de grano de un *shekel* de plata por *gur* [unos trescientos litros], se han invertido 20 talentos de plata para la compra de grano. He oído noticias de que los hostiles Martu han invadido tus territorios. He entrado con 72 000 gur de grano [el autor ha sido tan amable de ofrecernos la solución de la suma de la primera frase]… A causa de los Martu, me es imposible entregar este grano para su trilla. Son más fuertes que yo, y me han condenado a quedarme sentado a la espera.

Casa F es el poco evocador nombre que se ha asignado a un lugar en donde se llevaron a cabo algunas estimulantes investigaciones. Después de la segunda guerra mundial, los arqueólogos norteamericanos visitaron de nuevo la antigua ciudad de Nippur, situada ahora en el sur de Irak, para proseguir con sus excavaciones, que habían abandonado en el siglo XIX. Al llegar a la Casa F se dieron cuenta de que habían realizado un hallazgo único: tablillas de escritura desechadas que se habían reutilizado para efectuar reparaciones y construir bancos. Debajo de capas de yeso, los suelos y las paredes estaban cubiertos de inscripciones de textos literarios y cálculos aritméticos. Con una técnica de operación mucho más sistemática que la de sus predecesores, el equipo tomó nota cuidadosamente de la ubicación exacta de sus descubrimientos antes de distribuirlos por museos de Bagdad y por las universidades de las que procedían. Y muchos de ellos siguieron ahí, apenas catalogados en espera de que los estudiosos reconstruyesen trabajosamente sus secretos, casi cincuenta años después de su recuperación.

Alrededor del siglo XVIII a. n. e., la Casa F era una escuela. La arcilla se acaba deshaciendo con la lluvia, de manera que la casa debía ser reconstruida aproximadamente cada veinticinco años. Los expertos saben que se trataba de una escuela porque muchas de las tablillas eran copias de listas y tablas: los

niños aprendían a leer, a escribir y a hacer cálculos aritméticos. En sus salas, los arqueólogos hallaron cuencos y un horno de pan, pero se dieron cuenta de que la enseñanza tenía lugar en los patios exteriores, en donde hallaron recipientes que contenían agua y arcilla fresca para empapar las tablillas y poderlas reutilizar. Los escribas se fabricaban sus propias tablillas, y la presencia de tablillas de formas toscas con torpe escritura revela que también se enseñaba esta técnica a los niños. Al sostener una de estas tablillas en la mano, uno puede notar los contornos de los dedos y la palma de la mano de una persona que vivió hace miles de años.

La formación matemática impartida en la Casa F estaba centrada en la producción de escribas entrenados para resolver disputas legales y financieras. Igual que los niños victorianos, condenados a pasar apuros con varas y palos antes de la introducción del sistema métrico decimal, estos alumnos de Mesopotamia pasaban horas haciendo conversiones de medidas de una unidad a otra. Para poder enfrentarse a los problemas prácticos del comercio, las leyes y la agricultura, se veían obligados a memorizar largas tablas de multiplicaciones y divisiones. Los profesores evaluaban tanto la pericia práctica como los conocimientos abstractos. «¡Has escrito una tablilla, pero eres incapaz de entender su significado!», se lamentaba un profesor en un texto educativo humorístico pensado para motivar a los alumnos más holgazanes. «Si vas a parcelar un campo, serás incapaz de sostener correctamente la vara y la cinta», se quejaba. «Eres incapaz de averiguar qué forma tiene, así que, cuando dos hombres se peleen por ver quién tiene razón, no podrás traer la paz, sino el enfrentamiento entre hermanos»[2].

Los escribas en formación aprendían a mezclar la arcilla con agua y limpiar las ramitas, hojas y otros restos naturales que flotaban en la superficie. Cortaban juncos del río para fabricar estilos, delgados cilindros del tamaño de un palillo chino partido longitudinalmente en cuatro, y pisaban la masa de arcilla para hacerla más maleable y de consistencia más uniforme. En sus clases moldeaban pegotes de arcilla en forma de óvalos aplanados y practicaban presionando en ella la punta afilada de su estilo para representar distintos números mediante marcas verticales y horizontales. Del mismo modo que la escritura con bolígrafo, estas habilidades tienen que aprenderse: la impresión definitiva es muy sensible al ángulo en el que se sostiene el estilo, y la fabricación de tablillas suaves y simétricas es más difícil de lo que parece. Mientras grababan símbolos en la arcilla blanda, los alumnos rociaban constantemente la superficie con agua para evitar que se secase con demasiada rapidez en el cálido sol; de vez en cuando tiraban las tablillas

viejas en un recipiente para reciclarlas y empezaban de nuevo a fabricar una nueva tablilla.

Las materias primas utilizadas en Mesopotamia —la arcilla, los juncos— condicionaron los sistemas numéricos que desarrollaron: contaban en bloques de sesenta, algo extraño para las personas que hemos crecido con decenas y centenas. Sin embargo, al intentar escribir con un estilo (también vale una pajita de beber refrescos cortada en diagonal), enseguida se da uno cuenta de que la elección del sesenta es más sensata de lo que podría parecer. Los babilonios utilizaban dos símbolos básicos: vertical para unidades y diagonal para decenas. Agrupaban los primeros nueve dígitos en grupos de tres, en Filas superpuestas, porque el ojo humano puede distinguir de forma inmediata una, dos o tres marcas verticales adyacentes… pero no cuatro. La lectura de las marcas cuneiformes horizontales es algo más peliagudo, y los escribas desarrollaron un método que les permitía reconocer de forma instantánea grupos de hasta cinco marcas. Así, después de 59 (cinco horizontales y tres grupos de tres verticales), los escribas pasaban todo un lugar hacia la izquierda y empezaban de nuevo, de forma similar a como nosotros distinguimos 10 de 100.

El equivalente moderno más parecido es un reloj digital, en el que el número de horas —grupos de sesenta minutos— aparece en el lado izquierdo de la pantalla. El funcionamiento de los dispositivos microelectrónicos es muy distinto del de las tablillas de arcilla, pero han heredado una forma de contar que se desarrolló hace miles de años en función de los materiales disponibles. Además, las convenciones numéricas de la geometría moderna, que hablan de 360° en una circunferencia, no tienen su origen en Euclides y los griegos, sino en los prospectores de Mesopotamia y en sus administradores, que escribían en tablillas de arcilla.

El concepto de paso del tiempo adquiere una nueva dimensión al tomar conciencia de que algunas de estas antiguas tablillas solo pueden datarse con una precisión de quinientos años. Para un futuro historiador de la cultura europea, sería equivalente a preguntarse si Copérnico vivió en la actualidad. Aunque «los babilonios» pueden percibirse ahora como una única civilización, todo un milenio separa a los niños aprendiendo a contar en la Casa F del comienzo de las observaciones astronómicas en Babilonia, en el siglo VIII a. n. e. Durante ese olvidado millar de años, los observadores del firmamento han venido registrando sucesos en el cielo. La información almacenada en las tablillas nos ha legado un inmenso depósito de conocimientos astronómicos. Al tomar nota de sus trabajos sobre arcilla, los

eruditos babilonios dejaron pruebas palpables de su obra y de sus ideas, lo que supuso una influencia no solo en sus sucesores inmediatos, sino también en personas como usted y yo, que viven miles de años después.

Mediante el descifrado de estos restos, los arqueólogos han podido reconstruir gran parte de las creencias de los habitantes de Babilonia. Por desgracia, las tablillas de arcilla no lo revelan todo. Los expertos aún lo ignoran prácticamente todo acerca de la vida cotidiana de la mayoría de las personas que no formaba parte de las élites educadas. Lo que es peor, a pesar de que los descifradores de las tablillas pueden interpretar los catálogos de estrellas recopilados por los astrónomos babilonios, no pueden más que suponer qué instrumentos utilizaban para medir las posiciones de las estrellas. No se ha descubierto aún ningún dispositivo, pero parece probable que utilizaban algún tipo de varilla para calcular alineaciones, parecida al gnomon de un reloj de sol.

Algunos de los escribas firmaban sus trabajos, de modo que los arqueólogos han podido recopilar sus propias listas, no de estrellas, sino de los diestros astrónomos que se agrupaban como constelaciones alrededor de los templos y de los reyes. No tiene sentido calificar los logros científicos de estos consejeros de la corte, porque los babilonios no distinguían categorías independientes para la ciencia y la religión, la racionalidad y la espiritualidad, la astronomía y la astrología. Para los observadores del cielo de la Antigüedad, las estrellas representaban un texto sagrado celestial que, si se leía correctamente, podía revelar augurios de prosperidad o de hambruna, de paz o de guerra. Estas profecías se corroboraban con la observación de otras pruebas, como los hígados de animales sacrificados, y llevaban a cabo los rituales adecuados para protegerse de los desastres inminentes. Se trataba de personas con un gran ascendiente, cuyos pronósticos podían hacer que un rey renunciase a sus poderes o estableciese una nueva corte en otro punto del país.

Poco a poco, los babilonios pasaron de registrar los eventos de los cielos a predecir cuándo estos iban a suceder, ya que, durante muchos años, una limitada dinastía de familias de eruditos acumularon inmensas cantidades de datos: en concreto fueron alrededor de trescientas mil observaciones entre el siglo VIII a. n. e. y el siglo I n. e., el período de recopilación de datos más prolongado de la historia. Examinando esta información, los astrónomos de Babilonia averiguaron los ciclos de repetición, lo que les permitió predecir las posiciones futuras del Sol, la Luna y los planetas. Algunos de estos análisis eran realmente sofisticados. Por ejemplo, al recopilar tablas de datos, los

matemáticos tenían en cuenta las distintas velocidades del Sol durante su viaje anual por el cielo, y compensaban la variación en los movimientos de los planetas.

Algunas de las características de esta astronomía arcaica pueden parecer muy extrañas. En primer lugar, a diferencia de los astrónomos modernos, los babilonios no utilizaban sus cálculos para hacer mapas de las órbitas de los planetas, sino para averiguar de qué forma afectaban los cielos a los individuos; la motivación de sus investigaciones era política, encaminada a la predicción de los acontecimientos importantes, como la invasión de Babilonia por parte de Alejandro Magno. Otro ejemplo: la opinión de los babilonios acerca de dónde acaba la Tierra y empieza el cielo era distinta de la actual; para ellos, la atmósfera formaba parte de las estrellas, no del globo. Las nubes, que actualmente se consideran fenómenos meteorológicos, solían meterse en el mismo saco que los eclipses, los planetas y los meteoros (de ahí el nombre de la moderna ciencia del tiempo atmosférico). Esta clasificación de los fenómenos naturales fue legada a los griegos, y formó parte importante del pensamiento europeo hasta finales del siglo XVII.

Sin embargo, los griegos no veían el Universo desde el punto de vista matemático de los babilonios. Los filósofos y astrónomos de Grecia pensaban de forma geométrica, y representaban el Universo con visiones tridimensionales de estrellas que orbitaban alrededor de la Tierra como si se desplazasen por la superficie de una imaginaria esfera celeste. En cambio, los matemáticos de Babilonia pensaban de forma aritmética y algebraica, haciendo gala de su virtuosismo para llegar a nuevos resultados en lugar de desarrollar técnicas para la resolución de problemas. Los babilonios recopilaron extensas tablas de observaciones y de posiciones de estrellas; no obstante, en lugar de trazar diagramas geométricos tridimensionales, utilizaban complicadas y repetitivas multiplicaciones y divisiones. Los astrónomos de Babilonia aplicaban a los cielos las mismas técnicas de cálculo que habían aprendido los niños de la Casa F para averiguar las áreas de los campos, los perfiles de las acequias de riego y las estructuras de los embalses.

Aunque estaban muy alejados de los científicos modernos, estos observadores del firmamento nos dejaron importantes legados. El volumen colosal de sus observaciones y cálculos fue extremadamente valioso para los astrónomos geométricos griegos, que conocieron sus trabajos en Egipto: los datos de los babilonios son los cimientos sobre los que se han construido los modernos catálogos de estrellas. Otro de los legados importantes que ha llegado hasta nuestros días es el sistema zodiacal, con sus doce signos. El

doce es un número más versátil que el diez, porque es fácil de dividir por cuatro y por tres. También se ajusta con facilidad a la base numérica 60 de los babilonios, de forma que los círculos se pueden dividir cómodamente en 360°, como en la actualidad. Los babilonios dividieron el cielo en doce secciones iguales, una por cada mes lunar, y asignaron a cada una el nombre de una constelación destacada. Estas constelaciones, traducidas al latín, son los actuales signos del zodíaco que conocemos por los horóscopos de los periódicos, como Aries el carnero o Tauro el toro. Sin embargo, aunque la elección del doce es racional, otros aspectos de este sistema no tienen lugar en la ciencia moderna.

Los eruditos de Babilonia establecieron también algunos de los aspectos de la forma moderna de contar el tiempo. Aparte de dividir el tiempo en conjuntos de sesenta (e influir así sobre nuestros segundos, minutos y horas) y siete (días de la semana) instauraron un sofisticado calendario basado en los movimientos del Sol y de la Luna. Como muchos de los astrónomos que les sucedieron, los babilonios intentaron con tesón reconciliar el año solar, que dura algo más de 365 días, con el mes lunar, que dura unos 29 días. En nuestros días, esta dificultad se ha resuelto mediante meses de distintas duraciones y con la introducción de los años bisiestos, pero los babilonios desarrollaron una técnica en la que agregaban un decimotercer mes cada tres años.

El enfoque babilonio de relacionar el tiempo de las personas con la Luna se convirtió en la base de los calendarios religiosos judío y cristiano. En la Figura 2**[f2]** se puede ver la página correspondiente al mes de septiembre de un deslumbrante Libro de horas encargado por un acaudalado noble en el siglo XV, cuyo propósito era mostrar el texto litúrgico apropiado para cada hora del día. Pintada en papel de vitela en intensos azules, rojos y dorados, en esta asombrosa escena de otoño aparecen campesinos inclinados, desperezándose y probando ilícitamente algunos granos de las uvas que recogen para el Château de Saumur, representado en la pintura con gran detalle arquitectónico. Para los cristianos devotos, una de las características más importantes de la imagen era el calendario semicircular de la parte superior, que les permitía averiguar las fechas de las festividades religiosas de cualquier año.

Este calendario ilustra la supervivencia de las influencias antiguas, que se mezclaron y fueron absorbidas por la cultura europea. El anillo exterior y el interior están escritos en números arábigos (1, 2, 3, etc.), que llegaron a Europa en el siglo XII y se siguen utilizando. Entre ellos, las dos bandas en

latín muestran una doble herencia romana: los números romanos y los nombres de meses como *noviembre* o *diciembre* (noveno y décimo en latín). La astronomía babilónica aparece en al arco ancho en el que aparecen los signos zodiacales de Virgo (la virgen, a la izquierda) y Libra (la balanza, a la derecha). Las dos bandas centrales del arco interior proceden directamente del calendario babilónico de diecinueve años. Los símbolos de la Luna están asociados con diversas letras del alfabeto ordenadas secuencialmente como un código. Utilizando el número diecinueve para descifrar este mensaje, los sacerdotes podían averiguar la fecha de la luna nueva en cualquier mes y año.

Igual que sus distantes precursores, muchos observadores del firmamento cuyas teorías incorporaban ideas de los babilonios estaban interesados en la predicción a través de las estrellas, ya fuese por motivos religiosos o para obtener poder político. Por eso es razonable incluir una imagen piadosa en un libro acerca de la historia de la ciencia; aunque la astronomía es ahora una disciplina científica, está construida sobre siglos de asociación con profecías, ritos y música. No hay caminos directos que vinculen la ciencia moderna con su pasado mesopotámico. Sin embargo, si los astrónomos griegos en Egipto no hubiesen heredado y desarrollado la astronomía de Babilonia, nuestros actuales mapas estelares y tablas de mediciones tendrían un aspecto muy distinto.

3 - Héroes

En ciencia, el mérito se lo lleva el que convence al mundo, no el primero que ha tenido la idea.

Francis Darwin, *Eugenics Review* (1914)

La palabra «historia» tiene dos significados distintos: hace referencia tanto al pasado como a la forma en que este se describe. Por desconcertante que parezca, los historiadores pueden relatar los mismos acontecimientos o períodos históricos de formas distintas, porque, a pesar de que deben ceñirse a los hechos, también utilizan la creatividad para escribir. Con el fin de hacer comprensible lo que sucede, construyen narraciones con líneas argumentales, asignan principio y fin a sus historias y prestan especial atención a los momentos culminantes como la victoria en una batalla, el descubrimiento de una nueva sustancia o la formulación de una teoría revolucionaria. Del mismo modo que los novelistas describen un mundo imaginario, los historiadores imponen una estructura sobre el flujo continuo del pasado histórico. Y, con el fin de implicar a sus lectores en su versión de los eventos —su historia particular—, se centran en individuos esenciales, que pueden adquirir el estatus de héroes.

Este enfoque en las personas célebres surge de los griegos, que sabían del poder de atracción de los héroes, que hace que las historias sean recordadas. Los griegos inventaron a Aquiles, Eneas y otros campeones mitológicos cuyas hazañas estaban más allá de las capacidades humanas. Por otra parte, los griegos tenían en muy alta consideración la habilidad intelectual, de modo que convirtieron a los filósofos reales en figuras legendarias cuyas eruditas proezas superaban a las de los simples mortales. Aunque los miembros de este panteón intelectual variaban, su número era siempre de siete, una cifra especialmente significativa. Una de las versiones modernas más habituales es esta:

Los siete científicos griegos más importantes fueron Arquímedes, Aristóteles, Demócrito, Platón, Ptolomeo, Pitágoras y Tales.

Se pueden hacer varias críticas evidentes a esta relación. En primer lugar, algunos de estos Siete Sabios ya no son muy conocidos, mientras que hay algunas ausencias. ¿Qué hay de Hipócrates, el famoso padre de la medicina occidental? ¿O de Euclides, fundador de la geometría moderna, y uno de los autores favoritos de Newton? Aun aceptando la selección, el uso de la palabra «científico» es problemático, porque no había científicos. Aunque muchas de las ideas que tuvieron su origen en la antigua Grecia se adaptaron a lo largo de los siglos y acabaron calando en la ciencia, estas personas no compartían ni la finalidad ni las técnicas experimentales de los investigadores modernos.

Otra posible crítica a este grupo de Siete Superhéroes Griegos es el orden alfabético. Si lo reordenamos cronológicamente, estos héroes intelectuales serían Tales, Pitágoras, Demócrito, Platón, Aristóteles, Arquímedes y Ptolomeo. Sin embargo, más de siete siglos separan al primero del último: en la Inglaterra moderna, sería equivalente a clasificar juntos a Stephen Hawking y al monje del siglo XIII Roger Bacon. Como mínimo, Hawking y Bacon estudiaron en dos de las universidades inglesas más tradicionales: Oxford y Cambridge. En cambio, estos griegos no solo estaban dispersos en el tiempo, sino también en el espacio: Tales (de Mileto) vivió en lo que es actualmente la costa de Turquía; Platón enseñaba en Atenas, y Ptolomeo trabajaba en Egipto.

Vistos desde la perspectiva actual, los griegos que en realidad vivieron en siglos y regiones distintas se perciben como un grupo homogéneo en el que sobresalen diversos nombres famosos. Lo más habitual es subdividir la historia de Grecia en tres períodos históricos: el primero es la era presocrática, que abarca aproximadamente del 600 al 400 a. n. e.; el segundo es el siglo posterior, que marca el punto álgido del poder ateniense, cuando Platón, el alumno de Sócrates, fundó su Academia y tuvo como discípulo a Aristóteles. Finalmente tenemos el medio milenio entre el 300 a. n. e. y el 200 n. e., el período helenístico. En esa época, el pupilo más famoso de Aristóteles, Alejandro Magno, había construido un colosal imperio y la civilización griega se extendía por la costa norte de África, el Mediterráneo oriental y, por tierra, hasta India y China. Los héroes de la filosofía griega aparecen en los tres períodos.

Platón visualizó la búsqueda de la verdad como si fuese una carrera olímpica del intelecto ejecutada por doctos atletas que se pasaban la antorcha del genio unos a otros. Generaciones posteriores adoptaron este atractivo modelo. Aristóteles, alumno de Platón, se promocionaba a sí mismo

afirmando que había heredado la llama del conocimiento de Tales, que dos siglos antes había inaugurado una nueva forma de concebir el Universo. Dos milenios más tarde, el propio Aristóteles era venerado por los eruditos europeos como fundador de la ciencia griega.

La popularidad de esta romántica imagen de una carrera de relevos académica llegó hasta la época victoriana, y tiene diversas ventajas. Por encima de todo, estimula a los historiadores para que reflejen la ciencia como una serie de emocionantes aventuras protagonizadas por intrépidos descubridores, intercaladas con períodos de descanso en los que no sucede nada significativo. De hecho, en el caso de los griegos, es difícil contar otro tipo de relato, a causa de los grandes huecos en el registro histórico. Solo han sobrevivido documentos originales de unos pocos pensadores griegos, y las pruebas que han llegado hasta nuestros días suelen proceder de interpretaciones muy posteriores. Pero, durante los siglos transcurridos, las ideas se habían distorsionado y la información acerca de las vidas de los antiguos griegos, incluso los más notables —y, desde luego, todo el resto— había desaparecido. Con frecuencia resulta difícil separar los mitos de los hechos en estas narraciones sesgadas e incompletas.

El estilo heroico de Platón al relatar el pasado convierte en genios a unos cuantos hombres brillantes (y, ocasionalmente, a alguna mujer), pero relega a muchos otros al olvido. Platón convierte a personas en los equivalentes intelectuales de los dioses de la mitología: dotados de cerebros sobrehumanos, sobrevuelan los asuntos terrenales mientras cavilan sus grandes ideas. Y sin embargo, la ciencia y la filosofía no estaban separadas de la realidad, y las preocupaciones cotidianas —la política, las finanzas, las relaciones personales — afectaban al desarrollo de las teorías en la antigua Grecia en la misma medida en que ejercen su influencia en las actividades académicas modernas. Platón afirmaba que Tales estaba tan absorto en la observación de las estrellas y en la predicción de su comportamiento que se cayó en un pozo, mientras que, según Aristóteles, Tales era un astuto hombre de negocios que hizo una fortuna pronosticando una cosecha extraordinaria y comprando luego todos los molinos de aceite. Puede que la anécdota de Aristóteles sobre su emblemático antepasado sea una exageración, una caricatura de una conducta humana, pero es más creíble que el genio despistado de Platón.

Durante sus vidas, los héroes científicos aparecían como personas menos importantes de lo que se las considera en retrospectiva, admirados por iniciar proféticos caminos hacia un futuro del que sus contemporáneos nada conocían. Por ejemplo, algunos historiadores señalan a Aristarco como

precursor de Copérnico porque, en el siglo III a. n. e., sostenía que la Tierra giraba alrededor del Sol. Pero conmemorar a Aristarco por haber tenido esta idea moderna no parece tener demasiado sentido, ya que su teoría fue rechazada en su época y no tuvo apenas impacto posterior: los astrónomos siguieron creyendo durante casi dos mil años que el Sol giraba alrededor de la Tierra.

El asunto de la prioridad hace su aparición una y otra vez en la historia de la ciencia. Leonardo da Vinci dibujó un objeto parecido a un helicóptero, pero existe una enorme diferencia entre trazar un boceto y poner en el aire una máquina tripulada. Por brillante que fuese, Leonardo no fue el primer ingeniero aeronáutico del mundo. De forma parecida, algunos especialistas explican que, en el siglo I a. n. e., Herón de Alejandría construyó una pequeña esfera giratoria impulsada por vapor. Pero, a pesar de estas afirmaciones, no se puede decir que Herón sea el responsable de la revolución industrial, que se inició en Gran Bretaña en el siglo XVIII.

Las historias heroicas de ciencia cojean porque, a diferencia de Aquiles y Eneas, los Siete Sabios de Grecia eran personas reales que vivieron sus vidas en lugares y épocas concretas. Su pensamiento, su comportamiento y su escritura no solo dependía de las opiniones de sus mentores y de sus amigos, sino también de sus propias necesidades materiales y emocionales, como ganar dinero, tener cuidado de no ofender a sus mecenas, aplacar la ira de los dioses, intentar obtener ventajas políticas e incluso combatir el aburrimiento o recuperarse de un desengaño amoroso. También es importante tener presente que sus ideas no viajaron por el tiempo y el espacio en una especie de vacío intelectual, sino que sufrieron constantes adaptaciones y modificaciones. En distintos lugares y siglos diferentes, algunos aspectos de su pensamiento recibieron más atención que otros; una gran parte se rechazó, o incluso se combinó con el de otros. Al examinar a los pensadores heroicos dentro de su contexto cultural, resulta obvio que los genios no nacen, sino que se hacen.

Entonces, ¿por qué incluir a los griegos en una breve historia acerca del pasado de la ciencia? Aunque su visión del mundo era muy distinta de la que tienen los investigadores modernos, sus ideas filosóficas, cosmológicas y teológicas afectaron en gran medida a la ciencia posterior, tanto por su lectura directa como mediante su transformación y transmisión por parte de estudiosos cristianos y del islam. Según los estándares modernos, las teorías que ejercieron su dominio durante siglos son erróneas, mientras que otras que ahora parecen correctas fueron rechazadas: la ruta del cambio científico no tiene nada de recta. Al pensar en la influencia de los filósofos griegos en el

futuro, los conceptos que importan son los que adoptaron sus sucesores. Es irrelevante el hecho de que los científicos modernos juzguen que son correctos o incorrectos.

Si nos centramos en las ideas clave debemos dejar de lado grandes fragmentos del pasado, pero podemos adoptar dos puntos de vista para ello. La estrategia convencional es seleccionar una ruta intelectual que conduce de forma directa del (supuestamente) ignorante pasado hacia la verdad superior del presente: si se omiten lo que ahora consideramos como errores, los historiadores pueden relatar el ascenso triunfal de la ciencia y su victoria sobre la superstición, la magia y la religión. En contraste, este libro presta atención a las opiniones de las personas en cada momento: explora —sin juzgarlas— cómo se transmitieron las creencias de una generación a la siguiente. Las ideas antiguas pueden actualmente parecer extrañas, pero merecen un tratamiento serio, porque las mantenían de forma sincera algunos hombres y mujeres de excepcional inteligencia.

A lo largo de ocho siglos, los eruditos griegos tomaron prestadas observaciones efectuadas en diversos lugares, acumularon una inmensa masa de datos y desarrollaron teorías acerca del Universo y sus habitantes. Para examinar de qué forma sus acciones colectivas afectaron a la ciencia posterior, las cuatro secciones siguientes se centran en cuatro amplias áreas: la estructura del cosmos; la vida y la medicina; la naturaleza de la materia y los conocimientos prácticos. En cada uno de estos aspectos, los griegos dejaron vastos legados que pueden parecer estrafalarios, pero que fueron copiados, absorbidos y transformados por las civilizaciones que les sucedieron.

4 - Cosmos

> Desde el lugar donde yace puede ver la salida de Venus. Adelante. Desde el lugar donde yace, cuando el cielo está despejado, ve la salida de Venus seguido por el sol. Entonces clama contra la fuente de toda vida. Adelante. Por la noche, cuando el cielo está despejado, saborea su venganza de estrella.
>
> Samuel Beckett, *Ill Seen Ill Said* (1981)

Los científicos llevan a cabo experimentos para comprobar sus teorías —o al menos, esa es la versión ideal de lo que realmente sucede—. En la práctica, con frecuencia las ideas preconcebidas sobre cómo debía funcionar el Universo han anulado las pruebas que ha proporcionado la observación. En Grecia hay numerosos casos, —Platón, por ejemplo—, de personas que insistían en que el Universo estaba caracterizado por el orden cósmico y la armonía matemática, a pesar de que se conocían siete obstáculos para este modelo ideal: los siete planetas, cuyos movimientos irregulares a través del firmamento contravenían tanto el sentido común como la filosofía. Hasta la época de Newton, este problema dominó la cosmología; los astrónomos intentaban «salvar las apariencias» conciliando el movimiento aparentemente errático de los planetas con las visiones teóricas de perfección celestial.

Platón compartía este punto de vista cuantitativo heredado de los pitagóricos, que vivieron en Italia unos dos siglos antes de su tiempo. Aunque en nuestros días se recuerda a Pitágoras por su teorema acerca de los triángulos rectángulos, no fue él quien lo inventó; hacía mucho tiempo que los babilonios conocían las propiedades de la hipotenusa (este es el ejemplo más sencillo: si las líneas de cada uno de los lados del ángulo recto (de 90°) de un triángulo miden 3 y 4 unidades de longitud, el lado opuesto, la hipotenusa, medirá 5 unidades, ya que $3^2 + 4^2 = 5^2$). La palabra «geometría» significa «medir la tierra», y los matemáticos griegos contribuyeron a convertir los problemas de agrimensura práctica en diagramas abstractos. Utilizando al principio las técnicas ya conocidas por los niños babilonios de la Casa F, desarrollaron poco a poco un conocimiento matemático teórico fascinante por sí mismo, aparte de su valor práctico.

Del mismo modo que los científicos modernos, Pitágoras y sus discípulos creían que la matemática es la clave para la comprensión del Universo. Sin embargo, también formaban parte de una hermandad secreta que buscaba números en todas partes y les asignaba significados ocultos. Los triángulos con lados 3, 4 y 5 eran especialmente atractivos a causa de su simplicidad numérica que, según creían, llevaba implícito el eco de la belleza cósmica. Para los pitagóricos, este enfoque cuantitativo del Universo formaba parte de su búsqueda espiritual hacia la superación personal, aunque también es una característica de la ciencia racional y captó la atención de muchos teóricos famosos como Newton y Galileo, que veían el cosmos como un gran libro escrito por Dios en un idioma matemático de triángulos, círculos y otras forma geométricas, una visión que dejó sentir su influencia. La fe en el poder de la ciencia matemática no impide tener un sentimiento religioso.

Pitágoras afectó en gran medida a la trayectoria de la ciencia, a pesar de que sus propias investigaciones se basaban en la música. Al parecer, efectuó cuidadosas medidas para demostrar la existencia de relaciones numéricas simples entre los intervalos musicales, de modo que, por ejemplo, una cuerda determinada de un instrumento musical produce una nota que está una octava por encima de la que genera una cuerda con el doble de longitud. No obstante, la teoría y la perfección tenían para él una importancia superior a la de la realidad cotidiana, y parece improbable que Pitágoras obtuviese muchos de los resultados experimentales que se atribuía. Con su búsqueda de relaciones numéricas místicas, los pitagóricos extendieron al Universo la terrenal matemática de la música, intentando establecer relaciones armónicas para las distancias entre planetas. Esta asociación griega entre astronomía y aritmética, entre música y magia, seguía siendo la dominante en Europa en el siglo XVII.

En lo que se refiere a modelos cosmológicos, los dos autores griegos más importantes fueron Aristóteles, discípulo de Platón, que vivió durante la cumbre del poder de Atenas, y Ptolomeo, que trabajó en la Alejandría helenística (bajo soberanía griega) casi medio milenio más tarde. A diferencia de otros muchos filósofos griegos, Aristóteles y Ptolomeo dejaron una cantidad significativa de textos escritos con los que los estudiosos medievales de toda Europa estaban perfectamente familiarizados. Se conoce muy poco sobre las vidas de estos dos hombres, pero la influencia de sus visiones cosmológicas fue tremenda.

Aristóteles carecía de paciencia para los números especiales y la matemática cósmica de sus predecesores pitagóricos; él era un astrónomo teórico que creía en el poder del pensamiento, no en la precisión de las

observaciones. En todo caso, Aristóteles no tenía acceso a las medidas exhaustivas de los babilonios. Rechazando los puntos de vista de unificación matemática de Pitágoras y Platón, Aristóteles dividió el Universo en dos zonas delimitadas, con propiedades notablemente distintas: la región celestial y la esfera terrestre (también llamada sublunar, del griego «debajo de la Luna»). El reino de los cielos de Aristóteles es estable y ordenado, y se compone de una misteriosa sustancia etérea a través de la cual los cuerpos celestes giran eternamente en círculos perfectos, que (de algún modo) se mantienen en movimiento continuo por obra de un agente inmóvil externo. En contraste, el globo terráqueo se caracteriza por la corrupción y la mortalidad, los objetos se mueven de forma natural hacia abajo o hacia arriba (como el humo que asciende o las piedras caen) a menos que se las fuerce a cambiar de dirección de forma no natural.

La cosmología aristotélica estaba esparcida en sus libros, no presentada de forma unitaria y coherente; sin embargo, su distinción entre los reinos terrestre y celeste dominó las ideas científicas hasta bien entrado el siglo XVII, mucho después de que Copérnico situase el Sol en el centro del Universo. La prolongada supervivencia del modelo de Aristóteles sugiere que era razonable y útil. Parece obvio que nuestro mundo permanece estacionario: si se dispara una flecha hacia arriba, esta baja y te atraviesa, porque tu cuerpo ha permanecido en el mismo lugar, no ha girado. Además, el cosmos de Aristóteles era atractivo para los cristianos europeos, porque era muy sencillo visualizar el agente inmóvil como Dios. En la Figura 3**[f3]** se muestra una modificación del siglo XVI, en la que la zona central de la Tierra está rodeada por las órbitas circulares de los siete planetas, cada uno de ellos identificado por su nombre y su símbolo. Más allá de las estrellas fijas y el cielo cristalino (una posterior adición teológica), el anillo más exterior está etiquetado como «The fyrst Mover» («el primero que mueve»), un término común para referirse a Dios.

Esta versión intuitiva del Universo quedaba empañada por siete transgresores celestiales: los siete planetas, que se mueven a una velocidad inconstante por el cielo y cuyo brillo varía, como si lo hiciese su distancia desde la superficie de la Tierra. Lo que es peor: salvo el Sol y la Luna, periódicamente parecen detenerse y moverse hacia atrás antes de reanudar su movimiento normal. Para los astrónomos, este movimiento retrógrado era desconcertante, ya que estaban convencidos de que el Sol y los planetas giraban alrededor de la Tierra en círculos perfectos. Si se asume que el Sol se encuentra en el centro del Universo y que las órbitas son elípticas, es muy

fácil averiguar la razón de estos singulares efectos. Pero lo que ahora parece evidente solía ser inconcebible. Durante siglos, la sola sugerencia de un comportamiento parecido se rechazaba, porque se contradecía con el ideal de una rotación circular perfecta alrededor de una Tierra fija.

La solución de Aristóteles al problema de los planetas era extraordinariamente farragosa, porque estaba convencido de que los planetas se desplazaban con velocidad uniforme. Su sistema completo incorporaba cincuenta y cinco esferas concéntricas invisibles, girando alrededor de la Tierra de diversas formas. El Agente Inmóvil provoca el movimiento perpetuo de la más exterior de las esferas, y el movimiento de esta se transmite hacia dentro. Cada uno de los siete planetas es transportado por una de las esferas, y —con la excepción de la Luna— está acompañado de otras diversas esferas para compensar la influencia de las otras. No deja de ser irónico que uno de los discípulos de Aristóteles contribuyese al abandono de este complejo modelo. Durante una visita a Macedonia, Aristóteles ejerció de maestro del príncipe que acabaría convirtiéndose en Alejandro Magno. Con la expansión del imperio de Alejandro hacia el este, los astrónomos geométricos griegos se tropezaron con el colosal legado de las observaciones de los babilonios, y no tuvieron más remedio que reconocer que, por muy sugerente que fuese la idea de las esferas de Aristóteles, era necesario modificarla. Esta influencia mesopotámica transformó la cosmología griega, ya que, por primera vez, la elegante geometría pudo sacar provecho de datos meticulosos para ofrecer esquemas cuantitativos de notable exactitud.

Sin embargo, el concepto del movimiento circular estaba demasiado arraigado como para que se pensase en renunciar a él. Lo que hicieron los matemáticos de la época helenística fue retocar sus esquemas. El siguiente de los textos clave que sobrevivieron había sido escrito por Ptolomeo, una enigmática figura de biografía exigua e incierta. Lo más probable es que pasase casi toda su vida en Alejandría, la ciudad egipcia fundada por Alejandro Magno, donde murió aproximadamente en 170 n. e. Los artistas medievales suelen representar a Ptolomeo con una corona, porque lo confundían con los Ptolomeos, que habían gobernado en Egipto varios siglos antes. Ptolomeo fue un experto propagandista de sí mismo y, aunque se apoyó sobre sus predecesores, los presentó como superados y logró forjar su propia identidad como el héroe que transformó el torpe y pesado modelo de Aristóteles.

Ptolomeo estableció su domino de la astronomía posterior a causa de que su enorme compendio de conocimientos se transmitió en primer lugar al

imperio islámico, para luego llegar a Europa. El texto, que se suele conocer por su nombre árabe de Almagesto (La gran colección), contiene un detallado catálogo de más de un millar de estrellas, así como tablas numéricas y diagramas geométricos para el cálculo de los movimientos futuros de los siete planetas. Apoyándose en los siglos de teoría de Grecia y de observaciones de Babilonia, Ptolomeo construyó modelos geométricos para predecir el comportamiento de los planetas. Para ello tuvo que sacrificar uno de los principios más preciados de Aristóteles, el movimiento uniforme: aunque los planetas de Ptolomeo se movían en círculos, sus velocidades eran variables.

Ptolomeo describía también los instrumentos que utilizaba para la observación del firmamento, que influyeron en las prácticas posteriores. Estaba especialmente orgulloso de su esfera armilar, cuya estructura básica se mantuvo sin variación durante siglos. En la Figura 4**[f4]** se muestra una versión de mano europea montada en un soporte de madera. Como hizo con algunas de sus teorías, Ptolomeo afirmaba ser el inventor de la esfera armilar, pero lo más probable es que se tratase de una herencia. Los grandes anillos calibrados (o armillae) representan coordenadas celestes imaginarias que rodean a la Tierra, situada en posición central, de modo que el instrumento se podía utilizar como modelo del cosmos y como dispositivo para medirlo (este ejemplo en particular era demasiado pequeño y tosco para obtener medidas precisas). Según Ptolomeo, su principal ventaja consistía en que podía medir directamente las coordenadas celestes de una estrella (es decir, su latitud y longitud celestes) sin necesidad de efectuar los pesados cálculos. Mucho tiempo después de que todos creyesen ya que el Sol se hallaba en el centro del sistema planetario, los navegantes seguían utilizando la astronomía de Ptolomeo, ya que, diga lo que diga la ciencia, para efectuar cálculos en mitad del océano, es más simple imaginar que el Sol gira alrededor de la Tierra.

Ptolomeo estaba decidido a ofrecer predicciones fiables que se correspondiesen con sus mediciones y explicasen por qué algunos planetas parecen moverse hacia atrás. Aunque logró conservar los círculos, tuvo que renunciar a la simplicidad, y los diagramas de su modelo están repletos de complejidades geométricas. Su principal innovación fue la de sugerir que cada planeta se mueve en un pequeño círculo cuyo centro imaginario gira describiendo un círculo mayor alrededor de la Tierra. Aunque el esquema de Ptolomeo puede parecer algo abstruso, siguió siendo importante porque trataba de hacer cuadrar las observaciones reales y los compromisos filosóficos y teológicos con el movimiento circular. En la Figura 5**[f5]** se muestra un dispositivo didáctico que aparece en un famoso texto astronómico

del siglo XVI. No es un diagrama, sino un modelo de papel en el que se utilizan cordeles para hacer girar discos de colores que explican el movimiento del planeta Júpiter. A medida que Júpiter gira siguiendo el pequeño círculo de la parte superior (denominado epiciclo), produce un movimiento en bucle a medida que el círculo pequeño se mueve a lo largo del perímetro del círculo mayor (etiquetado aquí como Deferens Jovis, deferente de Júpiter). Con una visión adecuada, es posible hacer corresponder el movimiento en bucle con el movimiento hacia atrás y hacia delante que Júpiter describe en el cielo.

El orden en el que Ptolomeo situó los planetas siguió también vigente durante muchos siglos, aunque, hasta cierto punto, se trataba de un orden arbitrario (Figura 3). Más allá de los planetas se hallaban las estrellas fijas, que teólogos posteriores dividieron en bandas. Junto a ellas situó Ptolomeo a Saturno, Júpiter y Marte, los tres planetas cuyo comportamiento parecía más próximo al de las estrellas. Como, de algún modo, Venus, Mercurio y la Luna parecían vinculados a la Tierra, les asignó las órbitas más interiores. Para crear un Universo agradablemente simétrico, Ptolomeo situó al Sol (el único planeta sin epiciclos) entre estos dos grupos: los estudiosos del Medievo comparaban el Sol con un rey acompañado por tres cortesanos planetarios en cada lado.

Ptolomeo era una figura compleja que, como el dios Jano, miraba tanto hacia delante como hacia atrás. Al futuro dejó como legado las influencias astrológicas y las esferas celestes que había heredado del pasado, pero —del mismo modo que los astrónomos modernos— hacían hincapié en la precisión de los cálculos geométricos. Igual que algunos de sus predecesores babilonios y griegos, Ptolomeo creía en un cosmos holístico, que integraba a los seres humanos con los cielos. Para los astrónomos, el trazado de los movimientos de los planetas no era un simple ejercicio intelectual; su intención era descubrir cómo influían en las personas. Después de todo, es obvio que el cambio de posición del Sol afecta a la vida en la Tierra; entonces ¿por qué no había de suceder lo mismo con los otros seis planetas? En la astrología ptolemaica, las distintas partes del cuerpo están relacionadas con planetas y signos del zodíaco específicos, y el estudio de las estrellas siguió siendo importante para los médicos islámicos y europeos. En esta medicina cosmológica, las siete edades del hombre se corresponden con los siete planetas —o, como explicaba William Shakespeare en *Como gustéis*—, la Luna representa «la criatura hipando y vomitando», mientras que Saturno es «la segunda niñez y el olvido total».

5 - Vida

¡Vasta cadena del ser!, de donde Dios empezó, naturalezas etéreas, humanas, ángel, hombre, bestia, pájaro, pez, insecto, lo que el ojo no ve, ningún cristal puede alcanzar, del infinito a ti, de ti a la nada.

Alexander Pope, *Essay on Man* (1733-1734)

«Juro por Apolo el Médico y Esculapio y por Hygeia y Panacea y por todos los dioses y diosas…». Aunque han transcurrido más de dos milenios desde su muerte, Hipócrates sigue siendo célebre por su juramento de buena práctica médica. Sin embargo, Hipócrates se ha convertido en un héroe tan mitológico como real. Aunque se sigue citando su nombre en los debates sobre eutanasia y aborto, muchas de las frases a él atribuidas (incluido su juramento) fueron escritas por sus discípulos. Hipócrates no estaba solo en la terapéutica griega; era uno de los numerosos médicos que recomendaban una amplia variedad de tratamientos; e, igual que otros supuestos fundadores, heredó una serie de conocimientos.

Hipócrates fundó su escuela médica en la isla griega de Cos, en la misma época en que Sócrates atraía a los discípulos de su filosofía en Atenas. Los médicos carecían de cualificación formal alguna, de manera que, para atraer a alumnos que pagasen por su formación, los hipocráticos utilizaban tácticas de promoción, afirmando que ellos eran los únicos expertos en medicina y descalificando a sus predecesores como simples magos. Esta costumbre de ocultar su deuda con sus antepasados contribuyó a que los sucesores de Hipócrates lo convirtieran en el simbólico padre de la medicina.

Es justo reconocer a los hipocráticos su fama de exigir detallados informes de los casos, que les llevó a poseer un colosal depósito de experiencia práctica que les permitía predecir el curso de una enfermedad, aunque no comprendiesen las razones. Esta práctica tan razonable hacía que pareciesen tener el control de todo, cuando, en realidad, apenas podían pasar de ayudar a que sus pacientes muriesen de la forma más cómoda posible. Sin embargo, a pesar de que poseían escasas curas eficaces, los hipocráticos

insistían en la importancia de conservar la salud. A diferencia de los médicos actuales, sus teorías se basaban en las constituciones particulares de las personas, no en enfermedades universales. Ofrecían consejos personalizados para mantener en forma el cuerpo y la mente, enseñando a las personas a que mantuviesen sus fluidos esenciales —sus humores internos— en su estado de equilibrio natural.

Este enfoque en el bienestar personal del paciente seguía siendo prevalente en la Europa del siglo XVIII. A falta de drogas eficaces, la medicina hipocrática aliviaba la sensación de desamparo ante la enfermedad mediante la estrategia de poner a las personas a cargo de su propia salud como medida preventiva. Los enfermos (y también los hipocondríacos) podían encargarse de vigilar su propia salud mediante el análisis diario de las variaciones de sus síntomas y actuando para restablecer su equilibrio normal. Los pacientes estaban satisfechos de que los tratasen como personas individuales, y los médicos experimentados podían cobrar tarifas altas a los clientes más adinerados, que exigían una constante atención personal. El principio central hipocrático —de forma intrínseca, los cuerpos se curan a sí mismos y buscan el equilibrio— ofrecía también un atractivo filosófico, ya que sugería que el Universo había sido diseñado de forma voluntaria en lugar de surgir por azar.

Entre los Siete Sabios de la antigua Grecia, solo uno de ellos tuvo una influencia significativa en las ciencias de la vida: Aristóteles, que vivió un siglo más tarde que Hipócrates. Hacia el final de su carrera, Aristóteles se rebeló contra el punto de vista convencional de que los filósofos no debían examinar el mundo real. Además del estudio de cuestiones medioambientales como los modelos meteorológicos y la actividad sísmica, se ensució —literalmente— las manos con el estudio de plantas y animales. Aunque cometió algunos errores notables (por ejemplo, no se le daba bien contar dientes o costillas), Aristóteles llevó a cabo sus propias disecciones e hizo hincapié en la importancia de que las teorías se ajustasen a los hechos y no al revés. Con minucioso detalle, Aristóteles recopiló observaciones sobre una inmensa variedad de seres vivos, incluidos los seres humanos.

A diferencia de los libros de texto actuales, su compendio de comportamiento animal mezclaba el folklore y la teoría médica con los hechos puros. Aristóteles aseguraba a sus lectores que las ovejas parirían corderos negros si bebían del río incorrecto; por otro lado, su informe antiintuitivo de que el pez cazón o pintarroja posee útero fue finalmente comprobado en 1842. Como no podía ser de otro modo, las obsesiones teóricas de Aristóteles afectaban a las observaciones que llevaba a cabo, e

intentó unificar la creación mediante la selección de características comunes en criaturas aparentemente distintas. Su compromiso ideológico con un universo perfecto y sin fisuras le condujo a la búsqueda de continuidad en lugar de diferencias. Le fascinaban las criaturas anfibias como las focas, que parecían constituir un eslabón entre los animales terrestres y acuáticos, y por los murciélagos, que vuelan como las aves pese a carecer de plumas. También intentó establecer una ley general del envejecimiento, que relacionaba el crecimiento del pelo, las pezuñas y los picos de distintos seres.

El catálogo de la naturaleza elaborado por Aristóteles fue extremadamente popular en Europa, porque incluía descripciones detalladas de las actividades sexuales, y versiones apócrifas posteriores como la *Obra Maestra de Aristóteles* se convirtió en una de las lecturas clandestinas más habituales. Su punto de vista sobre la biología sobrevivió también en un nivel más teórico, a causa de su énfasis en los cambios pequeños, graduales, entre organismos. En la versión cristianizada del modelo aristotélico, una cadena continua de cambios se extiende desde el más pequeño de los organismos hasta la cima de la vida, el ser humano, y más allá, hacia los ángeles y hasta Dios. A finales del siglo XVII, el filósofo John Locke ofreció una explicación de este concepto:

> Que en todo el Mundo corpóreo y visible no vemos Abismos ni Brechas. Partiendo de nosotros, el descenso se hace a pasos suaves, y una serie continua de Cosas, que en cada etapa difieren muy poco una de otra… y los reinos Vegetal y Animal están tan próximos que, si se toma lo más bajo de uno y lo más alto de otro, apenas se percibirá diferencia entre ellos[3].

El conocimiento de los médicos griegos sobre el exterior del cuerpo era mucho mayor que sobre su interior. Sin la anestesia, la cirugía interna era excesivamente dolorosa, y la disección de cadáveres se consideraba no solo inmoral, sino escasamente útil: ¿cómo iba a ayudar el examen de un cuerpo muerto en el tratamiento de uno vivo? Pero había numerosos heridos en combate a los que tratar, y los ejércitos victoriosos estaban en deuda con sus médicos hipocráticos, que aprendieron de la experiencia la forma de reparar fracturas, de vendar heridas y de amputar miembros dañados en un tiempo récord. Durante el siglo II n. e., uno de estos cirujanos, de nombre Galeno, trataba tanto a los gladiadores como a los soldados de Roma, y sus ideas acerca de la anatomía dominarían Europa hasta bien entrado el siglo XVI. Galeno transmitió también a Europa su propia versión de las teorías hipocráticas que llevaban medio milenio circulando y sufriendo modificaciones.

Los médicos galénicos aprendían que el cuerpo humano está dominado por cuatro fluidos o humores especiales: *sangre*, *bilis amarilla*, *flema* y *bilis negra* (utilizo la cursiva para distinguirlos de las sustancias reales con el mismo nombre). Cada humor posee su propia función: la *sangre* es la fuente de la vitalidad; la *bilis amarilla* ayuda en la digestión; la *flema* es un refrigerante que aumenta durante las fiebres, y la *bilis* negra oscurece la sangre y otras secreciones. Aparte de afectar a la naturaleza física de las personas, los humores influyen sobre el comportamiento psicológico, de modo que cada persona se caracteriza por un temperamento que depende del equilibrio de sus humores internos. Por ejemplo, una persona delgada y cetrina posee un exceso de *bilis amarilla* y una personalidad hosca y mezquina. Por el contrario, las personas gruesas, pálidas y vagas están afectadas de exceso de *flema*, mientras que el melancólico Malvolio de Shakespeare responde a un estereotipo de *bilis negra*.

Según Galeno, para comprender la anatomía era necesario estudiar cuerpos, no libros. Su razonamiento era que los médicos necesitan conocimientos anatómicos precisos para tratar las heridas y amputaciones de guerra, de modo que (a pesar de las protestas morales y los problemas prácticos). Galeno insistía en realizar experimentos para refutar las ideas obsoletas. A veces lograba sortear los tabúes sociales contra la disección de cadáveres humanos mediante el examen de los muertos en batalla picoteados por las aves, pero sobre todo solía trabajar con cerdos y monos. En la actualidad, las investigaciones de Galeno estarían prohibidas, ya que no tenía reparo alguno en trabajar con animales vivos atados con cuerdas. Galeno sondeó corazones palpitantes, ligó uréteres para demostrar el funcionamiento de vejigas y riñones y cortó médulas espinales para investigar qué partes del cuerpo quedaban paralizadas. «La hemorragia es el principal estorbo en una operación»[4], observó antes de ofrecer inestimables consejos sobre la forma de enfrentarse a los chorros de sangre. Durante casi cuatrocientos años, los filósofos habían sostenido que las arterias contienen aire; Galeno demostró que estaban equivocados, ligando una arteria en dos puntos y haciendo un corte entre ellos. Algo obvio, pero solo si te enfrentas con la sangre a diario y estás decidido a salvar vidas, no a reflexionar sobre su sentido.

Es irónico que este cirujano, que hizo hincapié en la importancia de la observación personal, ayudase a perpetuar errores que se mantuvieron durante siglos, consagrados en forma de doctrina que nadie osaba desafiar. En ausencia de cadáveres humanos, Galeno eligió la opción más próxima: examinar macacos de Berbería (monas de Gibraltar). La elección era sensata

pero, durante más de mil años, los médicos creyeron equivocadamente que, en el corazón humano, la sangre fluía a través de pequeños orificios, como lo hace en el corazón de estos primates. Otra de las características sorprendentes de la fisiología de Galeno es la ausencia de sistema circulatorio. Según su modelo, la sangre se fabrica de forma continua en el hígado y en las venas y se consume en el resto de órganos y miembros del cuerpo. Galeno llegó a esta conclusión no solo porque el sentido común le decía que la sangre oscura y la brillante debían fluir en dos sistemas independientes, sino también por su compromiso conceptual de asociar el cerebro, el corazón y el hígado con tres aspectos distintos del alma.

Pese a ser un brillante diseccionador que prefería blandir su escalpelo antes que creer en las opiniones de otros, Galeno, como muchos otros innovadores, sufría la presión de las ideas anteriores. Este mismo problema afectó a Andreas Vesalius, el anatomista del Renacimiento que adoptó la estrategia de Galeno, hacer observaciones de primera mano, y que debe su fama a sus realistas dibujos del cuerpo. Aunque Vesalius sacó a la luz muchos de los errores de Galeno, decidió que los orificios en el corazón debían existir, pero Dios los había hecho demasiado pequeños como para poder verlos.

6 - Materia

Ojalá los hombres recobrasen su equilibrio entre los elementos y fuesen más ardientes, e incapaces de mentir como lo es el fuego.

Quisiera que fuesen fieles a sus propios cambios, como lo es el agua, que pasa por todas las fases de vapor, corriente y hielo sin perder la cabeza.

D. H. Lawrence, *Elemental* (1929)

En la Europa del siglo XVII, la antigua Grecia seguía siendo el país de los héroes. Muchos eruditos consideraban el mundo clásico como la cima de la civilización, y pensaban que no era posible superar sus logros. Los filósofos griegos ya habían elaborado las únicas dos visiones posibles de la materia en aquella época —antes de que la física cuántica lo complicase todo, la materia debía ser o bien continua o bien constituida por partículas independientes separadas por espacios—. Por supuesto, existían numerosas variaciones posibles sobre ambos modelos, pero ninguna de ellas era totalmente satisfactoria. Esto provocó un enfrentamiento entre ambos bandos, dotado cada uno de ellos de un campeón clásico principal. En uno de los bandos se alineaban los seguidores de Aristóteles, que creía en la continuidad y que enseñaba que todo lo que existía en la Tierra era una mezcla de cuatro elementos básicos. Estos aristotélicos tardíos, que pronto serían derrotados, perpetuaban creencias académicas que habían sido dominantes en Europa durante siglos. Sus oponentes, jóvenes advenedizos como Isaac Newton, no tenían reparo alguno en arremeter contra estos enfoques tradicionales. Sostenían que la materia está constituida de átomos discretos, y adoptaron como figura simbólica a Epicuro, uno de los mayores críticos de Aristóteles.

Aristóteles y Epicuro llegaron a simbolizar dos puntos de vista esencialmente opuestos acerca de la composición del Universo. Los primeros griegos apostaban por la continuidad, e imaginaban un Universo formado por unas cuantas materias primas esenciales, que cambiaban y se combinaban entre sí para formar las distintas sustancias; igual que las semillas se convierten en árboles, también se oxida el hierro, el agua se solidifica para

convertirse en hielo y las personas nos pudrimos y nos convertimos en polvo. En este tipo de cosmos atestado, la luz y el calor pueden concebirse como vibraciones en una especie de jalea atmosférica invisible o como fluidos extremadamente sutiles que fluyen como líquidos sin masa. Como señalaban sus críticos, no es fácil interpretar estos conceptos tan abstractos en el mundo real. Para los atomistas, en cambio, las unidades básicas son partículas minúsculas e indivisibles. Estas partículas, rebotan en el espacio vacío (en casi todas las versiones) sin sufrir cambios, chocando para combinarse de distintos modos y formar así diferentes materiales. Los corpúsculos del hierro y el agua se combinan para formar orín de hierro, las partículas de agua se apretujan entre sí para formar hielo y la luz se parece a una corriente de proyectiles.

Aristóteles abogaba por la continuidad, tanto en el reino físico como en el de los seres vivos. Su fe en la escalera de la vida, con sus infinitesimales escalones entre seres similares, se ajustaba a su convicción de que el espacio vacío no existía en ningún lugar (una de sus frases más conocidas era «La Naturaleza aborrece el vacío»). Aunque los sistemas atómicos ya habían sido apuntados por algunos filósofos griegos anteriores a él, Aristóteles los rechazaba y de forma deliberada regresaba a modelos desarrollados por los hipocráticos. Su modelo puede parecer críptico, pero fue el que dominó el pensamiento musulmán y cristiano durante siglos.

Aristóteles creía que el mundo se podía caracterizar mediante cuatro cualidades imaginarias ideales: *caliente*, *frío*, *seco* y *húmedo*, que todas las entidades poseen en distintas proporciones. En ciertas sustancias, las cualidades aristotélicas están claramente ligadas a sus propiedades físicas. La leche, por ejemplo, es sobre todo fría y húmeda, mientras que la llama de una vela es seca y caliente. Otras descripciones son mucho menos intuitivas. Según el sistema aristotélico, el cuerpo frío y húmedo de la mujer hace que sea temperamental e incapaz de llevar a cabo los procesos de pensamiento racionales del cerebro masculino, seco y cálido. En consecuencia, en el cosmos holístico de correspondencias desarrollado por los sucesores de Aristóteles, los planetas masculinos (como Marte y el Sol) son calientes y áridos, mientras que Venus y la Luna, astros femeninos, son fríos y húmedos.

Para satisfacer su afán de orden, Aristóteles complementaba estas cuatro cualidades con cuatro elementos terrestres idealizados —*tierra*, *agua*, *aire* y *fuego*— que, combinados entre sí, formaban la totalidad de los materiales que se hallan en la Tierra. Estas cualidades y elementos se ajustan entre sí en un ordenado esquema que se ilustra de modo esquemático en la Figura 6**[f6]**. La

simetría domina: los elementos contrarios ocupan posiciones opuestas, y cada elemento comprende dos cualidades contrastadas. Así, en la parte superior, el fuego está flanqueado por caliente y seco, y está situado frente al agua, con sus cualidades de fría y húmeda. A su vez, la tierra es fría y seca, mientras que el aire es cálido y húmedo.

Aunque los elementos ideales de Aristóteles no existen en forma pura, sí ofrecían útiles hipótesis para concebir la materia del mundo real. Unos elementos aristotélicos se pueden transformar en otros modificando sus cualidades. Si se calienta el agua, fría y húmeda, se ahuyenta el frío para producir aire, caliente y húmedo; esto parece un modelo razonable de lo que sucede cuando se calienta agua para producir vapor. De forma parecida, parece bastante sensato e intuitivo pensar que los metales son bastante terrenales, o que la madera que se quema está llena de fuego. La constitución elemental de una sustancia ayuda a describir su comportamiento. El aire y el fuego aristotélicos tienden de forma inherente a moverse hacia arriba, mientras que la tierra y el agua fluyen de modo natural hacia abajo. En el cosmos cristianizado de la Figura 3, estos elementos sublunares están simbolizados por la tierra y el mar interiores del globo central, rodeado por anillos exteriores de nubes y llamas.

Mi primer pensamiento al contemplar este diagrama es «¿Dónde están las pruebas?». Los eruditos griegos se hacían otro tipo de preguntas. En su condición de filósofos, no les preocupaba tanto la justificación empírica como la respuesta a los problemas fundamentales de la creación: «¿Por qué el Universo es estable?» o «¿Cómo surgió este Universo del estado caótico inicial?». Para Aristóteles, pasar por alto unas cuantas contradicciones no tenía importancia comparado con establecer las razones básicas de la existencia de un mundo coherente. Aristóteles insistía sobre todo en que debía haber un motivo de peso subyacente que explicase por qué el mundo era como era. Para hallar el significado del Universo y de su propia vida, adoptó un punto de vista teleológico que se basaba en la fe en que la creación debía tener un propósito o meta (el *telos* griego). En los ojos hallamos un ejemplo simple de ello: si eres teleólogo, entonces crees que los animales tienen ojos porque necesitan ver; si no lo eres, tu razonamiento es que los animales ven porque resulta que tienen ojos.

Toda la filosofía de Aristóteles está imbuida de una actitud finalista. Para él, la naturaleza posee la propiedad intrínseca de desarrollar orden. Es por eso por lo que sus cuatro elementos se mueven de forma natural hacia sus posiciones naturales, como parte de una tendencia general para establecer un

cosmos estable y sistemático. Esta determinación del aristotelismo lo hizo especialmente atractivo a los cristianos, cuyo Dios es responsable de un universo que también posee una finalidad. La teleología ha seguido siendo un tema central en los debates científicos, en especial en aquellos sobre evolución, donde toma la forma del argumento del diseño. Si se presupone un creador inteligente, uno se halla en una posición muy cómoda para explicar el Universo en su conjunto como parte de un grandioso plan (aunque la existencia del sufrimiento es algo problemática). Por otro lado, si se lleva el argumento demasiado lejos, se corre el riesgo de caer en el fatalismo: el esfuerzo y la iniciativa personales no parecen tener demasiado sentido si Dios ya lo ha planificado todo para obtener el mejor resultado.

Epicuro es un antiteleólogo especialmente célebre, que disentía de Aristóteles en casi todos los aspectos esenciales —aunque sí compartían la imprecisión sobre la relación entre sus visiones teóricas y la realidad visible y tangible—. Epicuro, que llegó a Atenas quince años después de la muerte de Aristóteles, fundó una escuela de pensamiento completamente distinta, que prosperó alrededor del 300 a. n. e. La seguridad que ofrecía el diseño y la estabilidad aristotélicas no iban con él: para Epicuro, el azar es la llave del cosmos. Su razonamiento es que nuestro Universo es solo uno de muchos, y que surgió de las colisiones aleatorias de átomos que recorrían un colosal vacío y, ocasionalmente, se desviaban y chocaban entre sí. Estos átomos indivisibles se combinan de diversos modos para formar trozos de materia con características distintas, como calor o color.

Igual que otros filósofos griegos, Epicuro trató de eclipsar a sus predecesores negando su relevancia. Las ideas de Epicuro se basan en las de Demócrito, que había vivido un siglo antes y al que ahora se conoce como padre del atomismo. Apenas ha llegado a nuestros días nada de lo que escribió Demócrito, de forma que debemos deducir sus pensamientos sobre los átomos a partir de interpretaciones posteriores (Karl Marx eligió este desafío para su tesis doctoral). Puesto que los comentaristas griegos estaban influenciados por sus propias prioridades, sus informes no eran en modo alguno imparciales. Entre ellos se hallaban críticos sesgados como Aristóteles y sus sucesores que, como Epicuro, querían dejar clara su originalidad. Sin embargo, algunos fragmentos sí han sobrevivido; estas son palabras del propio Demócrito:

> Por convención hay color, hay lo dulce y hay lo amargo, pero, en realidad, solo hay átomos y espacio.[5]

Demócrito quería decir aquí que el Universo está constituido de un número infinito de pequeñas partículas indivisibles que se mueven constantemente a través de un espacio vacío igualmente infinito. Cuando los átomos de Demócrito colisionan, algunos de ellos rebotan, mientras que otros se unen entre sí para formar compuestos. Estos átomos nunca cambian, aunque tienen formas, tamaños y propiedades distintas: por ejemplo, los átomos delgados y angulosos producen un sabor ácido, mientras que los redondeados producen el sabor dulce.

Es una bonita teoría… hasta que llega el momento de probarla. Aun en el caso de ser capaz de aislar un átomo, ¿cómo se puede estar seguro de que es indivisible? ¿Pueden ser los átomos individuales lo suficientemente grandes para ser visibles? ¿Y no es arbitrario pensar que los átomos agudos generan un sabor áspero? Epicuro modificó las antiguas teorías de Demócrito para enfrentarse a los problemas más obvios, pero pasó por alto otras dificultades porque estaba más interesado en la ética que en la física. Su credo principal era que los individuos debían liberarse de la preocupación; al fin y al cabo, todo depende del azar, así que no tiene mucho sentido esforzarse por alcanzar la perfección. Con esta perspectiva vital, no es sorprendente que Epicuro no dedicase demasiado tiempo a refinar una teoría indemostrable.

Los modelos físicos basados en el atomismo y en la continuidad estaban íntimamente relacionados con posturas morales, así que la elección de uno u otro no se fundamentaba únicamente en la razón o en las pruebas. Muchos griegos se sentían intimidados por la cosmología de Epicuro, ya que carece de la visión tranquilizadora de un mundo diseñado con un propósito subyacente, como el de albergar a los seres humanos. El epicureismo socavaba también las reflexiones de Platón y Aristóteles acerca de que el principal objetivo del hombre debía ser llevar una vida virtuosa. Estas dos objeciones éticas seguían pareciendo de vital importancia dos mil años más tarde, cuando los protestantes del siglo XVII decidieron que, aunque el atomismo de Epicuro era razonable, sus implicaciones suponían un verdadero laberinto moral. Aunque, en la actualidad, el atomismo pueda parecer obvio, la continuidad de Aristóteles fue la idea dominante durante siglos, protegida por un envoltorio filosófico que casaba bien con las creencias cristianas.

7 - Tecnología

¿Quién construyó Tebas, la de las siete puertas?
En los libros se mencionan los nombres de los reyes.
¿Acaso los reyes acarrearon las piedras?…
¿A dónde fueron sus constructores la noche que terminaron la Muralla China?

Bertolt Brecht, *Preguntas de un obrero que lee* (1935)

«¡Eureka!», exclamó Arquímedes mientras saltaba de su bañera y salía corriendo (¿aún empapado?) por las calles para anunciar que había resuelto el problema de la cantidad de oro en la corona del rey. Un relato inverosímil, pero que se ha convertido en un clásico de la inspiración del genio científico. Arquímedes es también célebre por sus inventos, algunos de los cuales de un éxito sospechoso, como el espejo gigante con el que supuestamente prendió fuego a los barcos romanos, o el tornillo que quizá (o quizá no) podría haber inventado para elevar agua de un nivel a otro.

Entonces, ¿se ha convertido a Arquímedes en un héroe mitológico de la ciencia o de la tecnología? ¿Y cuál de ellas es más importante? ¿Ocupa el primer lugar la teoría en el laboratorio o el invento en la fábrica? Una forma de apreciar las relaciones entre la ciencia y la tecnología es fijarse en las palabras. Cuando en el siglo XVIII se estaba redactando el primer diccionario de la lengua inglesa, su compilador, Samuel Johnson, declaraba que su principal motivación era «embalsamar este idioma y protegerlo de la corrupción y la desintegración»[6]. Igual que los actuales puristas europeos que se lamentan de la americanización, Johnson intentó (sin conseguirlo) petrificar el idioma inglés y conservarlo para siempre en la forma de la clase alta. Finalmente (otra vez de forma similar a los modernos conservacionistas del idioma), Johnson no tuvo más remedio que reconocer que el cambio no es necesariamente malo. En la época en que dio por concluido su diccionario, Johnson había reconocido que los nuevos inventos y las nuevas actividades exigen palabras nuevas para describirlos.

En la práctica, el vocabulario importado o inventado es menos confuso que las palabras antiguas que tienen el mismo aspecto durante siglos y modifican gradualmente su significado. Uno de los más tramposos de entre estos resbaladizos términos es «ciencia». Aunque sus raíces se hallan en la cultura clásica (la palabra latina *scientia*, que significa conocimiento), ni Johnson ni, desde luego, los romanos, podían haber utilizado la palabra «ciencia» en ningún sentido similar al moderno. Incluso la más reciente «tecnología» presenta problemas. Acuñada en el siglo XIX, su origen es la palabra griega *techne*, que se refiere al conocimiento obtenido a través del trabajo práctico. Pero la palabra *techne* se originó mucho antes de la existencia de la industria pesada, de modo que en realidad se refería a la pericia manual, no a la eficiencia mecánica; en consecuencia, el concepto «tecnología» solía estar mucho más próximo a las artes de lo que lo está en la actualidad.

Ambas palabras («ciencia» y «tecnología») han absorbido diversas distinciones sociales, aparte de las disciplinares. «Ciencia» solía significar algo más próximo a los conocimientos aprendidos que los eruditos obtienen de los libros; en la época de Johnson era razonable hablar de la «ciencia del lenguaje» o de la «ciencia de la ética». Es decir, el conocimiento científico estaba limitado a las personas —sobre todo hombres— ricas y con formación. Su condescendiente actitud hacia los trabajadores manuales se extendió hasta la era victoriana, en la que los científicos miraban por encima del hombro a los ingenieros que trabajaban con las manos y ganaban dinero con sus inventos. De forma similar, los privilegiados filósofos griegos daban un sentido peyorativo a la palabra *techne* al asociar la destreza manual con la necesidad de ganarse la vida. Escultores, artistas y artesanos recibían un pago por sus habilidades físicas y no disfrutaban del estatus que adquirieron mucho tiempo más tarde, en la Europa del Renacimiento.

Arquímedes no era ni científico ni tecnólogo, ya que ninguno de ellos existía durante sus días, en la Sicilia del siglo III a. n. e. Arquímedes era más bien algo parecido a un estereotipo moderno: el filósofo de sofá. El entorno social y académico de la antigua Grecia era enormemente distinto del que disfrutamos en la actualidad. En un sentido amplio, dos fueron los sectores de la sociedad griega que influyeron en lo que más adelante se llamaría ciencia. Solo se han hecho célebres las personas que pertenecían al más reducido de los grupos, esto es, el de los filósofos adinerados que reflexionaban con profundidad acerca del Universo y sus ocupantes, pero que pensaban que la

investigación experimental era irrelevante, aparte de estar por debajo de su categoría.

En contraste, las numerosísimas personas de órdenes sociales inferiores han sido, en general, olvidadas, aunque fueron también esenciales para el desarrollo de la futura ciencia. La ciencia es un asunto práctico tanto como teórico: aunque los modelos abstractos son importantes, necesitan comprobarse experimentalmente con observaciones del mundo real. Aunque muchos conceptos teóricos se derivan de los filósofos griegos, otros aspectos de la ciencia tienen su origen en los menos privilegiados que utilizan su pericia para mantenerse con vida: mineros que desarrollaron técnicas de refinamiento de petróleo, granjeros que se familiarizaron con los patrones climáticos o trabajadores textiles que empleaban reacciones químicas en su trabajo.

Muchos hombres prácticos fueron hábiles matemáticos. Lo que más adelante se convertiría en la ciencia de la mecánica surgió de la resolución de problemas que tenían que ver con que las cosas funcionasen: tender puentes, construir sistemas de irrigación, idear sistemas eficientes de elevación con poleas, diseñar armas eficaces, etc. Mientras los filósofos consideraban la mejor forma de triangular el Universo, los constructores desarrollaron la trigonometría básica necesaria para que sus muros fuesen verticales. Estos expertos mecánicos procedían de un cimiento social distinto del de los ociosos teóricos, pero también sus objetivos diferían. La intención de los filósofos era explicar el mundo, mientras que los matemáticos prácticos tenían más interés en describirlo. Si estás construyendo una casa, lo que necesitas es medir los tablones, no «preguntarte» por qué creció el árbol.

Cuando Arquímedes holgazaneaba en su bañera o en su sofá, lo que ocupaba su mente no eran los asuntos mundanos de cómo elevar pesos o prensar olivas, sino que estaba ideando ingeniosos dispositivos para demostrar principios matemáticos. Sus libros versaban sobre sus innovaciones matemáticas, no sobre sus inventos técnicos. Para sus elitistas compañeros, provocar asombro era una actividad con valor propio, que hablaba sobre el virtuosismo de su creador. Estos hombres impresionaban a sus contemporáneos con recipientes mágicos que se llenaban constantemente desde un depósito oculto, puertas de templo que se abrían y se cerraban automáticamente o teatros con marionetas que parecían serrar madera o clavar clavos con un martillo. Estos dispositivos, aunque extremadamente ingeniosos, no estaban hechos para tener aplicación práctica alguna.

Quizá el más famoso de ellos sea el llamado motor de vapor de Herón, en el que el vapor procedente de una caldera se conducía mediante tuberías a una pequeña bola hueca para hacerla girar. Probablemente, Herón y sus compañeros no pensaron nunca en convertir este modelo en una máquina funcional pero, aunque lo hubiesen intentado, les hubiera resultado imposible lograrlo. Los cambios tecnológicos dependen tanto de la viabilidad práctica, la voluntad política y el estímulo comercial como del conocimiento científico. Aunque los griegos heredaron las artes de la orfebrería de los babilonios y los egipcios, utilizaban principalmente la madera, y poco era lo que sabían acerca de la producción de hierro. Convertir la esfera de vapor de Herón en un aparato de proporciones industriales no solo hubiese exigido numerosas capacidades técnicas —como fundir cilindros de gran tamaño, sellar los pistones contra los escapes de vapor— sino también la infraestructura organizativa fundamental: establecer sistemas de fabricación complejos y conservarlos.

Los elitistas filósofos griegos afirmaban ser los fundadores de la civilización. Encaramados en lo alto de una especie de iceberg histórico, ocultaban sus cimientos sumergidos, que contenían su herencia del pasado y su dependencia de los trabajadores que los superaban en número. Aunque Ptolomeo alardeaba de que su esfera armilar había supuesto la introducción de la exactitud en la astronomía, no citaba en absoluto a los artesanos que construyeron físicamente los instrumentos que él manejaba. Del mismo modo que relegó al olvido a sus predecesores teóricos, Ptolomeo dejó también en el tintero, no solo la destreza de los artesanos griegos, sino también su dependencia de las técnicas más antiguas que tenían su origen en Mesopotamia y Egipto.

En la sombra de cada héroe griego hay una penumbra de informantes y asociados apenas visibles cuya contribución al origen de la ciencia fue igualmente vital. De forma singular, Aristóteles llevaba a cabo sus propias disecciones, pero buena parte de su detallada investigación dependía de apicultores, granjeros y adiestradores de caballos, personas que necesitan una información biológica precisa para sobrevivir, y que le proporcionaron lo que ahora denominaríamos datos científicos. Ocasionalmente, Aristóteles mencionaba explícitamente a estas personas, aunque no por su nombre; por ejemplo, explicaba que los pescadores expertos conocían tan en profundidad las costumbres de apareamiento del mújol que sabían dónde debían colocar como reclamos a los peces macho para atrapar a las hembras, y viceversa. Lo más habitual es que Aristóteles hiciese aparecer que las observaciones eran

suyas propias, aunque lo más probable fuese que los expertos locales le hubiesen proporcionado los detalles.

Los héroes filosóficos no deben su celebridad únicamente a su fulgurante inteligencia; y, del mismo modo, los logros significativos no son en sí mismos un billete hacia la fama. A lo largo del tiempo han aparecido diversas estrategias para asegurarse una reputación póstuma favorable. Una de las tácticas más fiables es tener una muerte espectacular. A Sócrates, que no dejó nada escrito, se le recuerda por haber bebido la cicuta, mientras que Hypatia de Alejandría se convirtió en un símbolo del feminismo no por su trabajo en matemáticas, sino porque (se supone) fue descuartizada por la turbamulta, aunque no está muy claro qué turbamulta fue esa ni por qué. Arquímedes se ganó su lugar en la posteridad tras morir como un filósofo romántico, tan obsesionado (se supone) con acabar su diagrama geométrico en la arena que un soldado furioso lo atravesó con su espada.

Según la leyenda aceptada, Arquímedes había planificado cómo debía ser su tumba. Quería que lo recordasen como un inspirado matemático, no como un pragmático inventor, así que pidió que en su lápida no apareciese ni un tornillo ni una catapulta, sino una esfera inscrita en un cilindro, junto a las fórmulas matemáticas en las que se comparan sus volúmenes. Aunque ni los científicos ni los tecnólogos existían aún, las bases para las distinciones jerárquicas entre ambos ya se habían establecido.

II

Interacciones

No existe una única forma de ciencia; lo que se denomina ciencia depende del lugar y del momento considerados. La información, las habilidades y los objetos se mueven constantemente de un lugar a otro, pasan de una generación a la siguiente y se modifican para adaptarse a los gustos y a las necesidades locales. Aunque los eruditos del Renacimiento afirmaban que estaban resucitando la cultura griega, sus conocimientos científicos eran el resultado de muchos siglos de comunicación e interacciones entre distintos pueblos y lugares. Mirando hacia atrás desde la posición estratégica de la Gran Bretaña del siglo XXI, el futuro de la ciencia se asentó principalmente sobre la interconexión de tres regiones: China, el mundo islámico y la Europa medieval. Muchos de los inventos más cruciales aparecieron por primera vez en China, que tecnológicamente fue superior a Europa hasta finales del siglo XVII. Por otro lado, los estudiosos islámicos desempeñaron un papel vital en la interpretación, modificación y desarrollo de los conocimientos griegos que llegaron a Europa en el siglo XII. Los líderes musulmanes no fueron transmisores neutrales de conceptos abstractos, sino que fomentaron la ciencia mediante la construcción de colosales bibliotecas, hospitales y observatorios astronómicos. En Europa, fueron las instituciones religiosas como monasterios y, más adelante, universidades, las principales impulsoras de las ideas científicas. Los estudiosos transformaron las versiones islamizadas de las teorías griegas en una forma cristianizada del aristotelismo

que influyó profundamente en las investigaciones mecánicas, ópticas y astronómicas del Renacimiento.

1 - Eurocentrismo

> Es necesario tomar en consideración y reflexionar cómo, en nuestra época, Dios ha transformado Occidente en Oriente. Pues nosotros que somos occidentales nos hemos ahora convertido en orientales… Palabras de idiomas distintos se han hecho propiedad común de cada nacionalidad, y la fe mutua une a aquellos que ignoran su ascendencia.
>
> Fulcher de Chartres, *Historia de la expedición a Jerusalén*, 1095-1127 (c. 1105-1127)

Todas las civilizaciones han querido que el mapa del mundo girase a su alrededor. Para los musulmanes árabes, Bagdad era el centro de siete zonas climáticas, mientras que, para los cristianos medievales, Jerusalén era el ombligo del mundo. En cambio, cuando los griegos antiguos visualizaban el mundo, situaban su conocido Mediterráneo (en latín «centro de la Tierra») en el centro de un masa de tierra gigante dividida en Asia, Libia y Europa, los nombres de tres hermanastras mitológicas (la princesa Europa fue violada por Zeus, que tomó la forma de un toro). En el apogeo de la supremacía ateniense, Aristóteles ubicaba a sus compatriotas griegos entre Europa y Asia, otorgándoles las características más deseables de ambos, y opinaba que todos los demás eran defectuosos. Los europeos occidentales no solo heredaron la filosofía de Aristóteles, sino también su egocéntrica arrogancia.

Si se repite algo con la frecuencia suficiente, la gente acabará por creerlo. Debido a su potencia política y financiera, los europeos se veían como el centro de todo, y sus relatos del pasado reflejaban esta supuesta superioridad. El punto de vista histórico de «Occidente es lo mejor» predominó en Europa durante siglos, a pesar de las numerosas pruebas en contra. Es lo que se pretende expresar en el mapa de la Figura 1, y lo que quería transmitir un primer ministro australiano cuando declaró: «Lo que Gran Bretaña llama el Lejano Oriente es para nosotros el Cercano Norte»[7].

Hasta hace muy poco, el eurocentrismo ha dominado la historia angloamericana de la ciencia. En versiones de fantasía del pasado, la ciencia conduce a la Verdad Absoluta y, además, se inició en Europa. Ahora que todo el mundo está interconectado de forma electrónica, la ciencia se contempla como el súmmum del logro humano y el resultado del genio

europeo/americano. Esta actitud autocomplaciente no tiene demasiado en cuenta la posibilidad de que otras culturas no hubieran elegido otros puntos de vista acerca de la vida porque sus eruditos fuesen estúpidos, sino porque tenían opiniones distintas sobre los aspectos importantes de esta. En todo caso, más ciencia no significa automáticamente mejores respuestas. Después de la segunda guerra mundial, los optimistas afirmaban que la ciencia iba a unificar el mundo porque —a diferencia de las religiones— trascendía las fronteras nacionales. Sin embargo, a pesar de que la iniciativa científica tiene un ámbito global, las perspectivas más ingenuas han fracasado estrepitosamente, tanto en traer la paz como en descifrar los secretos más ocultos de la naturaleza.

Durante siglos, no han sido muchos los europeos que han desafiado la noción de que los occidentales poseen algo intrínsecamente especial que los distingue del resto de habitantes del mundo. Sin embargo, «Occidente» y «Europa» son entidades inventadas, sin fronteras definidas. Su aparición fue lenta, y sigue cambiando. Aparentemente, imponen la uniformidad sobre la diversidad: en el pasado, las diferencias entre las personas que habitaban las distintas zonas de la región europea eran mayores. Incluso la definición exacta de la posición de Europa es imposible de dar, porque sus límites físicos, con la entrada y salida de países en ella, son borrosos. En todo caso, ser europeo no solo implica una ubicación geográfica, sino también una serie de afinidades culturales.

En el siglo IV se dio un paso especialmente importante en la consolidación de la identidad específica de Europa. Mientras que, en el sector occidental del continente, Roma perdía el control sobre las tribus rebeldes que habían estado bajo su dominación, el lado oriental del Mediterráneo se hacía cada vez más rico y más estable. Para consolidar su propia posición, el emperador romano Constantino trasladó su capital a la antigua ciudad de Bizancio, cuyo nombre cambió por el suyo propio, Constantinopla, la actual Estambul. A medida que el comercio, la agricultura y la civilización seguían prosperando, el área del Mediterráneo oriental estrechaba lazos con China, la India y los países árabes y, desde un punto de vista cristianizado, el dominio del mundo quedó simbólicamente dividido en dos: el Este bizantino y el Oeste católico romano. Esta división se consolidó definitivamente en el año 800 n. e., cuando el papa coronó a Carlomagno, un rey franco (es decir, francés temprano), como emperador del Sacro Imperio Romano Germánico. Aunque Carlomagno gobernaba una dispar colección de estados enfrentados entre sí, fue aclamado como el primer gobernante de una Europa unida. Desde aquel momento, los

occidentalistas han hecho un serio hincapié en su relevancia como fundador de Europa, y el eurocentrismo prevaleció durante la mayor parte de los siglos XIX y XX.

La noción de los orígenes gloriosos de Europa fue estimulada durante el Renacimiento, cuando los partidarios del rescate de la cultura clásica ubicaron en la Atenas de Platón y Aristóteles la cuna de la civilización. Dotando a esta pequeña y remota ciudad-estado del aura cuasimítica de una antigua era dorada, los artistas, los eruditos y los políticos establecieron un lazo directo con la antigua Grecia y, al mismo tiempo, se disociaron de todo lo que había ocurrido entre esta época y la suya propia. La baja más importante de esta interpretación fue la llamada Época Oscura o Edad de las Tinieblas, un período de imprecisa definición que se inició aproximadamente en la época de Constantino y en el que, se supone, apenas sucedió nada de interés. Al final de este estéril vacío histórico se hallaba un período ligeramente menos árido denominado Edad Media, que allanó el terreno para la creatividad del Renacimiento, en el siglo XIV. Mediante la ingeniosa erradicación de un milenio, los historiadores consiguieron dar la impresión de que la antorcha del conocimiento científico había pasado directamente de la antigua Grecia a la Europa renacentista.

En estas simplistas divisiones entre Este y Oeste, la ciencia desempeñaba un papel especial. Los europeos occidentales reconocían el esplendor intelectual griego, pero hacían hincapié en las ventajas prácticas de la nueva estrategia experimental introducida durante el siglo VXII. Por ejemplo, alardeaban de una famosa trilogía de inventos del Renacimiento —la imprenta, la pólvora y la brújula—, que, según afirmaban, había transformado no solo el conocimiento acerca del mundo, sino también la vida cotidiana. A pesar de las sospechas sobre la prioridad de China (minimizada con éxito hasta el siglo XX), los defensores de la superioridad de Occidente reclamaban este trío para Europa. Su atractiva visión de la creatividad renacentista reforzó el mito de la supremacía europea. De aquí surgió un gratificante relato de la historia. Según esta versión eurocéntrica de los avances humanos, la ciencia se originó en Grecia, se conservó en el imperio islámico que prosperó durante el declive de Europa, y luego entró intacta en España durante el siglo XII y se dispersó en dirección norte.

De forma metafórica, el término «Edad de las Tinieblas» estaba repleto de significados que sugerían, no solo que la luz del intelecto había quedado apagada (después de todo, ver es conocer), sino también que una lúgubre nube de superstición había descendido para sofocar la racionalidad y la

originalidad. Mientras Europa languidecía en su Edad Oscura —o eso sostenía la historia convencional—, los estudiosos árabes actuaban como conservadores de los conocimientos griegos. Los musulmanes fueron presentados como transmisores neutrales de la sabiduría europea, aunque en realidad eran experimentadores y teóricos por derecho propio que transformaron de forma activa las habilidades y creencias procedentes de las diversas culturas que habían unido. Así mismo, China se veía como un lugar remoto y esotérico, y no se reconocía el impacto que tuvieron en Europa sus éxitos en agricultura e industria.

La reescritura de la historia no es solo un problema de recopilar hechos: también supone decidir cuáles de ellos son importantes. Si se mira en la dirección correcta, aquellos siglos olvidados bullían —lo cual no es sorprendente— de actividad. Los historiadores han situado con frecuencia el nacimiento de la ciencia moderna en el siglo XVI, cuando Copérnico sugirió que era el Sol, no la Tierra, el que debía estar en el centro del Universo. Esto implicaba, sin embargo, pasar por alto cambios cruciales ocurridos en otro tiempo y lugar. Si bien es cierto que no hubo universidades en Europa hasta finales del siglo XI, los conocimientos prosperaron en las cortes de los gobernantes y en los monasterios cristianos. También se debe destacar la importancia de los desarrollos que tenían lugar fuera de Europa. La economía china florecía con un potente gobierno que alentaba la innovación en agricultura e industria, mientras que la región islámica también se expandía y crecía en riqueza. Los estudiosos musulmanes no solo se apropiaron de los conocimientos en medicina y matemáticas de los griegos, sino que los modificaron y ampliaron con sus propias investigaciones. Los inventores y eruditos de fuera de Europa producían equipos e ideas que se extendían hacia el oeste y quedaban incorporados en la ciencia y la tecnología.

Igual que otros imperios, el bloque europeo forjado por Carlomagno ganó fuerza por su apariencia externa de uniformidad. En realidad, los imperios constan de numerosos grupos más pequeños, minorías internas que hablan idiomas distintos y que a menudo son menospreciadas. A su vez, los gobernantes pueden promover una solidaridad chovinista presentando a los foráneos como inferiores. Este tipo de tácticas de autopromoción mediante diferenciación han sido práctica habitual a lo largo de los siglos de numerosas potencias imperiales, como los chinos, los romanos y los británicos. El idioma y la religión han sido siempre factores clave de distinción; en muchas culturas, la palabra que denota «bárbaro» significaba en origen «extranjero». Los griegos y los romanos consolidaron sus propias identidades imperiales

comparándose con los vecinos «bárbaros», considerados todos dentro de un mismo saco como si no hubiese distinción entre ellos. En las versiones históricas que pregonaban la superioridad europea, lo otros grupos quedaban caricaturizados como estereotipos simplistas. Los chinos aparecían como aislacionistas carentes de sentido práctico, una nación centrada en su propio ombligo y, circunstancialmente, en sus pinturas de flores, mientras que los musulmanes no eran presentados como instruidos y dedicados eruditos, sino como agresores que habían destruido la unidad del imperio romano.

Vistos en retrospectiva, los imperios pueden parecer bien diferenciados, pero la realidad es que su definición es borrosa, tanto en el tempo como en el espacio, y se extendían de forma desordenada a lo largo de muchos siglos y territorios. Las distancias eran grandes y las comunicaciones lentas, de modo que el ejercicio del poder se efectuaba tanto de forma regional como centralizada. Cada gobernante fomentaba actividades específicas en función de los intereses locales, de modo que los conocimientos y los usos variaban de un lugar a otro. Eso significaba que no existía un centro definido del que emanase el conocimiento científico de forma intacta, sino que diferentes versiones de habilidades y saberes coexistían y se mezclaban, interactuando de forma esporádica a través de iniciativas personales, no como resultado de ningún plan coordinado. Amplias redes internacionales de comercio se extendieron por la Europa continental y Asia, lo que permitió que las mercancías, las personas y los conocimientos recorriesen gradualmente grandes distancias. Aunque su movimiento era pausado, acababan llegando.

A medida que las personas viajaban de una región a otra, llevaban consigo ideas y objetos que cambiaban a medida que se movían. Este principio de transformación mediante migración no era ninguna novedad. En una narración del poeta griego Homero, Odiseo toma un remo de su barco y emprende viaje hacia las tierras del interior hasta que llega a un poblado en el que los lugareños interpretan que el objeto que lleva es una vara de trillar. En el curso de su vida cotidiana, muchos viajeros, mercaderes, monjes y estudiosos recorrieron las tierras euroasiáticas, llevando consigo conocimientos que constantemente se intercambiaban y adaptaban a las circunstancias locales. Por ejemplo, desde la perspectiva europea, Venecia parece ser el origen de numerosas innovaciones. Sin embargo, debido al comercio que ejercía tanto hacia el este como hacia el oeste, la ciudad importó y modificó técnicas cuyos orígenes se hallaban en China, la India o la civilización islámica. Estas no incluían únicamente aspectos prácticos, como mejoras en la navegación, sino también métodos más eficaces de publicidad y

contabilidad. Poco a poco, las tecnologías y las teorías fueron filtrándose hacia el oeste para estimular la reanimación intelectual y económica de Europa, en donde los monasterios combinaron la ciencia griega islamizada con la cristiandad.

El eurocentrismo que distorsionó el pasado está siendo ahora también relegado al pasado. Los historiadores que están arrojando luz sobre las supuestas tinieblas de la Edad Oscura están también ayudando a establecer políticas modernas en las que la diversidad se celebra como un medio de generación de riqueza cultural en lugar de abominar de ella por atenuar la excelencia.

2 - China

La reputación que otorga el mundo
es como el viento, que sopla ora aquí ora allá,
y cuyo nombre cambia según el cuadrante del que sopla.

Dante Alighieri, *Divina Comedia* (c. 1310-1320).

Al principio del siglo XVIII, los europeos sabían tan poco acerca de China que un extravagante oportunista francés de nombre George Psalmanazar se hizo pasar con éxito por un nativo de Formosa. Empleado por el obispo de Londres para traducir a su supuesta lengua nativa —inventada para la ocasión —. Psalmanazar publicó también una detallada, aunque ficticia, guía de la cultura de Formosa, que los caballeros ingleses con la fortuna (y la credulidad) suficiente para permitirse un gusto por el exotismo le quitaron con entusiasmo de las manos. Doscientos años más tarde, la ciencia china seguía pareciendo igual de misteriosa; y entonces apareció un informante tan inverosímil como Psalmanazar, un célebre pionero de la embriología que, además, era uno de los mejores bailarines de *morris* de Gran Bretaña. Se llamaba Joseph Needham, y no se limitó a revolucionar los estudios sobre China, sino también la forma en que los historiadores concebían el desarrollo global de la ciencia.

Needham visitó China por primera vez en 1942 como representate oficial de la Royal Society de Londres. En esa época, Needham era un científico célebre y un activista político de izquierdas, obsesionado con la historia china, que estudiaba con una joven científica china con la que finalmente se casó, más de cincuenta años después de su primer encuentro. En 1950, después de haber trabajado de forma intermitente en China y de haberla recorrido en sus viajes, Needham había perfilado un proyecto ambicioso, pero factible: crear una obra en siete volúmenes titulada *Science and Civilisation in China*. A medida que iba creciendo el volumen de investigación también crecía el número de colaboradores y asistentes; cincuenta años después, la obra se extendía a veinte volúmenes, con perspectivas de crecer aún más.

En lugar de quedar arrinconadas en recónditos estantes de bibliotecas, las investigaciones de Needham se convirtieron en tema de una contienda política. Sus libros fueron inicialmente condenados por sus interpretaciones marxistas y, tras sus afirmaciones de que las tropas americanas utilizaban armas biológicas en Corea, se prohibió a Needham la entrada en Estados Unidos. Una vez que fue obvio que la obra de Needham representaba un inmenso trabajo de estudio de primera categoría, sus críticos pasaron a acusarle de ingenuidad política, lo que no deja de ser un juicio singular para este marxista y predicador de la Iglesia Anglicana que recaudó fondos tanto públicos como privados para financiar el Needham Research Institute en Cambridge, una institución independiente. En cambio, Needham se convirtió en un héroe nacional en China. Tanto los reformistas como los tradicionalistas acogieron calurosamente el proyecto de recuperar su propia herencia cultural científica y tecnológica, y la iniciativa de Needham fue imitada en la India y en otros países que se recuperaban de la subyugación a un imperio.

Uno de los golpes de efecto de Needham fue la reescritura de la escala temporal de los inventos humanos. Su larga lista de innovaciones chinas contiene actualmente 250 de ellas, ordenadas alfabéticamente desde el ábaco hasta el zoótropo (un dispositivo fotográfico victoriano), pasando por los engranajes, el papel higiénico y el paraguas. La tabla de Needham es famosa por contener el trío de inventos que habitualmente se reivindican para la Europa del Renacimiento —la pólvora, la brújula y la imprenta—, situándolos en China en fechas anteriores. Como él mismo señalaba, la Ruta de la Seda no solo permitió que viajasen hacia el oeste las mercancías exóticas, sino que también alentó la migración de los productos agrícolas y tecnológicos. Gracias a Needham, la prioridad de China ha quedado demostrada en el caso de numerosas innovaciones cuyo origen se declaraba anteriormente como europeo.

Needham sostenía que era necesario volver a evaluar a China; lejos de ser un páramo científico empapado de antiguo misticismo, la civilización china había gozado de una efervescencia tecnológica muy por delante de la de Europa en la denominada Época Oscura. El estudio de China, que parecía una peculiaridad esotérica, permitió a Needham preguntarse por la verdadera naturaleza y orígenes de la ciencia en Europa. En sus escritos, que pretendían convertir más que convencer, Needham presentaba la idea sacrílega de que la ciencia moderna no es únicamente occidental, sino más bien «ecuménica», compuesta de verdades locales que fluyen hacia ella como los ríos hacia el mar. En particular, predicaba, los conocimientos chinos tradicionales

supusieron una contribución esencial a la empresa científica de crear un conocimiento universal.

Los historiadores tradicionales se indignaron ante tal sugerencia, e inmediatamente ofrecieron explicaciones en contra. Fijémonos, por ejemplo, en la pólvora. Needham y su equipo descubrieron recetas alquímicas que databan del siglo IX en las que se mostraba que los explosivos ya se preparaban de forma fiable trescientos años antes. Los eurocéntricos más obstinados defendían la prioridad de Occidente afirmando que, en China, este nuevo descubrimiento se utilizaba únicamente en fuegos artificiales y no en la construcción de armas, a pesar de que los sinólogos demostraron que China poseyó cañones antes que Europa. A pesar de las diferencias de interpretación, ambas afirmaciones resultaron ser ciertas, porque este invento militar chino tuvo un efecto muy superior en Europa, en donde las armas de fuego condujeron poco después a la desaparición de los caballeros armados y de los castillos feudales (parece irónico, pero la existencia de los caballeros se debía a los estribos chinos, que revolucionaron la guerra en Europa al agregar a las lanzas blandidas por personas la fuerza de los caballos).

Los historiadores han hallado historias similares en el caso de las brújulas. Aunque los antiguos griegos las desconocían, los artefactos magnéticos giratorios los utilizaron por primera vez los adivinos chinos del siglo I para indicar el sur, la dirección más propicia para que los emperadores dirigiesen su mirada. Más adelante se desarrollaron brújulas más complejas con varias esferas concéntricas para ayudar a elegir las ubicaciones más apropiadas para casas y tumbas. Los artesanos marítimos también fabricaban brújulas, pero su impacto en China no fue en absoluto tan fundamental como lo fue en Venecia y en España. Independientemente de la pericia técnica de los navegantes chinos, pasaron casi cuatrocientos años hasta la llegada a América de Cristóbal Colón desde el otro lado, inaugurando una nueva era de exploración, comercio y conquista para Europa.

La imprenta produjo también resultados más revolucionarios en Europa que en China, aunque allí se elaboraban habitualmente libros cuatro siglos antes de la Biblia de Gutenberg. Los gobernantes chinos gastaban grandes cantidades de dinero en la impresión con bloques de madera (que se adecua bien a los caracteres no alfabéticos), y también se producían publicaciones con tipos móviles. Sin embargo, en China, los libros se valoraban como medios para almacenar información, no como catalizadores de cambios, y no existía tradición de construcción de grandes bibliotecas accesibles, como sucedía en el imperio islámico.

Las afirmaciones de Needham pueden también evaluarse examinando las diferencias entre China y Europa. Antes de 1400 aproximadamente, las actividades científicas y tecnológicas en China, Europa y las regiones islámicas eran mucho más similares entre sí de lo que son ahora: todas ellas iban encaminadas a responder preguntas comunes acerca de las relaciones del ser humano con el mundo físico. Mirando hacia atrás se pueden señalar algunos aspectos del pensamiento y la actividad académicos que pueden parecer protocientíficos, pero que en aquel momento solo eran parte de estrategias más amplias para la resolución de las cuestiones fundamentales de la existencia. Así, a pesar de que los astrónomos utilizaban instrumentos y técnicas matemáticas que actualmente se asocian con la ciencia, en muchos sentidos se parecían más a astrólogos que a científicos modernos. Así mismo, los procesos actualmente asociados con la química los desarrollaron alquimistas en busca de progreso espiritual, no científico, y también artesanos cuyas habilidades consistían en fabricar cristal, refinar metales, etc.

Como en la antigua Grecia, el aprendizaje en libros y la destreza técnica eran actividades autónomas que practicaban grupos de personas distintos. Cuando los turistas chinos adinerados se aventuraron hacia Occidente, hallaron que las ciudades europeas que visitaban estaban tecnológicamente atrasadas. Sin embargo, la preeminencia técnica de su propio país no se basaba en los ingeniosos inventos de ociosos eruditos, sino en las prácticas artesanas transmitidas dentro de las familias. A lo largo del interconectado continente eurasiático, los artesanos refinaron los dispositivos y técnicas tradicionales de forma independiente de la élite minoritaria, que siguió sin poseer formación alguna en las habilidades manuales que se perpetuaban de forma oral. Muy lentamente, las personas de las regiones orientales y occidentales de esta masa de tierra empezaron a diferenciarse en su percepción de la destreza práctica. En China, las jerarquías ya existentes siguieron imperando, y las barreras sociales a la transmisión del conocimiento permanecieron impermeables. En cambio, en Europa, el comercio y la guerra estimularon los cambios técnicos.

A diferencia de Europa y sus universidades autónomas, el monolítico sistema educativo chino fomentaba la estabilidad y coartaba la innovación. El gobierno impuso rigurosos exámenes a nivel nacional para garantizar que sus funcionarios no solo procedían de familias ricas, sino que eran además inteligentes y eficientes. Esta formalidad, aunque efectiva, aplastaba la innovación, y el restringido plan de estudios permaneció inamovible durante setecientos años. Los textos y comentarios estaban pensados para ser

memorizados, no criticados, lo que imponía una cerrada uniformidad que se convirtió, a todos los efectos, en un dogma de estado. Esta rigidez no solo aniquilaba la originalidad, sino que también hacía que muchos estudiosos se centrasen en antiguos debates éticos y filosóficos y no en los problemas contemporáneos o en cuestiones científicas.

El poderoso sistema de administración centralizado, muy distinto de los pequeños feudos de Europa, sofocaba las iniciativas comerciales y militares individuales. En Europa occidental, la iniciativa privada estimulaba la inventiva. Por ejemplo, los comerciantes recibieron con los brazos abiertos las armas portátiles, que les protegían durante sus viajes, y no les importaba pagar más por las mejoras. En China, los administradores aprobaban los aparatos defensivos pesados para proteger contra invasiones, pero condenaban tanto la violencia personal como el beneficio individual. Pensemos, por ejemplo, en el destino de Wang Ho, un empresario del siglo XII que, empezando de la nada, creó una fundición que empleaba a quinientos hombres. Después de que Wang Ho y sus obreros utilizasen la fuerza para repeler la interferencia de los administradores locales en su negocio, fue ejecutado. Las autoridades decidieron tomar medidas drásticas contra la doble transgresión de Wang Ho: uso no autorizado de la violencia e iniciativa económica.

La divergencia se extendió también a las actitudes filosóficas y religiosas. A diferencia de los cristianos o los musulmanes, los cosmólogos chinos no suponían que hubiese una especie de primer motor inmóvil que gobernase el Universo mediante leyes naturales; según sus creencias, el comportamiento de los cielos estaba relacionado con el de las sociedades humanas a las que cubrían. Los consejeros de la corte dividían en dos tipos los fenómenos celestes: los regulares, que podían incorporarse en un calendario, y los impredecibles, que debían considerarse presagios. La atención se centraba en el emperador y sus delegados. Si su actuación no era correcta, esto provocaría inundaciones, lluvias de meteoros y otros desastres celestiales; en cambio, si su conducta se ajustaba a la armonía orgánica del mundo, la paz social prevalecería. El conocimiento completo parecía una tarea imposible, ya que los observadores humanos únicamente podían vislumbrar los vagos efectos de patrones complejos, aunque sistemáticos. Como narraba el funcionario del siglo XI Shen Gua: «Aquellos que hablan sobre las regularidades de los fenómenos… no captan más que burdos indicios. Pero estas regularidades están dotadas de un aspecto sutil imposible de conocer para los que confían en la astronomía matemática. Y aun así, no son más que indicios»[8].

Aunque Shen Gua se hallaba lejos de ser un científico en el sentido moderno, su trayectoria ilustra los motivos por los que Needham y otros historiadores enfatizan la importancia de la ciencia china. Shen Gua era un administrador hábil, que escaló el sistema de exámenes hasta convertirse en un poderoso consejero económico, militar y político del emperador, y fue director de la Agencia de astronomía durante varios años. Aunque más tarde fue víctima de las intrigas cortesanas, Shen Gua volvió a ganarse el favor del emperador mediante la construcción de un elaborado mapa en relieve, y pasó los últimos veinte años de su vida produciendo sus *Charlas de pincel*, que concibió como conversaciones con su pincel de escritura y su bloque de tinta.

En retrospectiva, Shen Gua puede parecer un gran astrónomo, muy por delante de los europeos. Inició un colosal proyecto de recopilación de datos, inconcebible en Europa, para medir las posiciones de los planetas tres veces por noche durante cinco años. Bajo su jurisdicción se construyó una red de observatorios equipados con una impresionante instrumentación. El que se muestra en la Figura 7**[f7]** incorpora una gran noria de agua para impulsar sus aparatos. En el tejado de la torre de dos pisos, a unos once metros del suelo, hay una elaborada esfera armilar (véase la Figura 4), decorada con dragones y dotada de un mecanismo de relojería para hacerla girar. Aunque desarrollada de forma independiente a la descrita por Ptolomeo en su Almagesto, esta esfera tenía un aspecto parecido y se utilizaba para medir las posiciones de las estrellas y los planetas. En el primer piso hay un modelo del movimiento de los cielos en forma de globo giratorio y, bajo él, una pagoda de cinco pisos contiene un elaborado sistema de marionetas móviles que muestran y anuncian la hora.

Sin embargo, Shen Gua no actuaba con el objetivo científico de deducir las leyes matemáticas que gobiernan el comportamiento de los planetas, sino que más bien actuaba como un astrólogo administrativo que reformaba el calendario con la finalidad de mejorar la toma de decisiones políticas acerca de los rituales imperiales. También es célebre por promover numerosos avances tecnológicos, incluido un eficaz sistema de drenaje de agua en cuya construcción intervinieron 14 000 obreros. Sin embargo, en términos modernos, Shen Gua es, más que un ingeniero hidráulico, un experto en hacienda pública que no contemplaba la naturaleza como fuente de pruebas científicas sino de beneficios para el estado. Para él, la sal no era una sustancia fascinante, sino «un medio para obtener riqueza, inconmensurables beneficios que emergen del mar»**[9]**. Aunque el mapa de Shen Gua lo presenta como un experto cartógrafo, no lo dibujó para guiar a los viajeros, sino para

satisfacer al emperador mostrándole la cantidad de territorio chino que estaba bajo su dominio. Y, aunque sus *Charlas de pincel* contienen información sobre astronomía, medicina, óptica y otros temas que ahora se consideran científicos, sus dispares seiscientas notas contienen también chismorreos de la corte, máximas y recuerdos personales.

A pesar de las meticulosas investigaciones de Needham y otros estudiosos, la relevancia de China sigue siendo un tema de debate apasionado. En la década de 1950, Needham planteó lo que se ha dado en denominar «Problema de Needham». Aunque no llegó a dar una respuesta totalmente satisfactoria, sus descubrimientos permitieron que otros expertos siguieran estudiándolo o, para ser más precisos, estudiándolos, porque el problema consta de dos partes. En primer lugar, Needham se planteó: «¿Qué sucedió en Europa en el Renacimiento para que surgiese la ciencia matemática?». Y, por si esta pregunta no fuese ya bastante compleja, prosiguió: «¿Por qué no sucedió lo mismo en China?»**[10]**. Needham rechazó *a priori* la respuesta simplista de la superioridad intrínseca de los europeos, se centró en las explicaciones sociales y —de acuerdo con sus compromisos políticos— desarrolló un análisis marxista a medida.

Aunque el clima chino es similar al europeo, razonaba Needham, su geografía es muy distinta. Mientras que la prolongada y retorcida línea de costa de Europa invita al tráfico marítimo, la inmensa masa de tierra de China alienta el cultivo agrícola y la cohesión interna. Según él, la ciencia europea surgió en los siglos XIV y XV cuando el feudalismo aristocrático y militar evolucionó hacia el capitalismo. En cambio, China siguió encerrada en una economía feudal controlada por una burocracia de estado centralizada cuyo principal interés era la producción, no la defensa. El imperio chino se basaba en una enorme y fuertemente cohesionada red administrativa que permitía a sus funcionarios recaudar impuestos y coordinar la producción de alimentos con gran eficacia, pero que también sofocaba la iniciativa individual y eliminaba cualquier impulso de acumulación de riqueza personal. Al principio, explica Needham, esta estructura burocrática estimuló el desarrollo tecnológico, ya que se emprendieron proyectos de ámbito nacional para el ahorro de agua, la mejora del transporte y la promoción de la educación. Sin embargo, en ausencia de incentivos privados, esta estable sociedad feudal no pasó nunca a la etapa siguiente de capitalismo mercantilista.

3 - Islam

> La razón es la revelación natural, mediante la cual el eterno Padre de la luz y Fuente de todo conocimiento comunica a la humanidad la porción de verdad que ha situado al alcance de sus facultades naturales.
>
> John Locke, *Ensayo sobre el entendimiento humano* (1689)

Para consolidar su propia identidad como europeos, los narradores occidentales presentaron a los musulmanes como seres ajenos, con estereotipos e historias de miedo incluidas. En el siglo XI, el papa Urbano II reunió a sus tropas católicas para atacar a los «enemigos de Dios», inaugurando así una mentalidad de cruzadas que hacía caso omiso de las raíces judeocristianas del islam y que aún resuena en la actualidad. Los cristianos estaban indignados con el asunto de Mahoma, del que creían (erróneamente) que era un dios pagano, no un profeta humano que había recibido el mensaje divino. Es más, no admitían que, para los musulmanes, el Qur'an reemplazase al Antiguo y al Nuevo Testamento. Aunque, en su período de máximo esplendor, la civilización islámica se extendía por toda la costa africana hasta incluir España, los europeos solían referirse a los musulmanes asiáticos como «sarracenos» (que viven en tiendas), y generalmente ignoraban que los unía a los «moros» españoles la misma fe religiosa.

Incluso los admiradores de la cultura islámica ponían énfasis en la diferencia y se centraban en los aspectos más peculiares lo que los conducía a exóticas interpretaciones. Por ejemplo, la única pieza literaria islámica que ha tenido un impacto significativo en los hablantes de lengua inglesa es el *Rubaiyat* de Ornar Khayyam. El *Rubaiyat*, compuesto en cuartetos rimados, se hizo célebre por su perspectiva fatalista de la vida, que apoya el hedonismo de un filósofo borracho que pasa por la vida en un continuo soliloquio:

> Su índice el fallo escribe: si tu piedad impetra,
> si tu ingenio excogita, si tu fe intercede
> por borrar una línea, tu voz nunca penetra;
> ni tus lágrimas juntas lavarán una letra.**[11]**

Sin embargo, esta versión es una traducción victoriana que se hizo muy famosa, aunque se trata de una grave distorsión del significado original del poema. Estos versos son una parodia lírica de la filosofía persa, unidos entre sí de cualquier manera a partir de diversas fuentes. Ornar Khayyam no era en absoluto un libertino en busca del placer, sino un brillante matemático, un sabio sufí enfrentado a la hipocresía religiosa. Como muchos otros aspectos de la cultura islámica, Khayyam ha sufrido una adaptación forzada al punto de vista occidental.

Desde la perspectiva de Occidente, la ciencia entró por primera vez en la cultura islámica durante el siglo VIII, cuando los califas que gobernaban Bagdad empezaron a invertir dinero en becas. El árabe, la lengua sagrada del Qur'an, se convirtió en un idioma científico internacional que vinculaba un territorio gigantesco que se extendía desde el extremo occidental de España, a lo largo de la costa sur del Mediterráneo, hasta China, cruzando fronteras. En tales condiciones de transmisión, la investigación prosperó y el conocimiento teórico llegó a un nivel nunca alcanzado anteriormente. Según la historia aceptada, la civilización islámica fue incapaz de mantener su impulso intelectual, y la supervivencia de la ciencia se debió únicamente a su transmisión a Europa occidental a finales del siglo XII. Poniendo un poco más de espectáculo: en la Gran Carrera hacia la Verdad Científica, los árabes cayeron al borde del camino y los europeos recogieron la Antorcha del Conocimiento.

Sin embargo, desde un punto de vista islámico, esta versión de la historia dista de ser satisfactoria, ya que no tiene en cuenta las actitudes musulmanas hacia el aprendizaje. Las ideas importadas de otras culturas raramente quedan intactas, sino que se ven afectadas por las perspectivas religiosas y filosóficas locales. En Europa, las teorías griegas acerca de la vida y el cosmos se reinterpretaron desde el punto de vista cristiano (véanse las Figuras 3 y 6). Así mismo, cuando los estudiosos musulmanes recogieron las ideas griegas, aplicaron sus propios criterios de relevancia para adaptarlas a su marco conceptual. Si se asume que la ciencia actual y sus aplicaciones tecnológicas representan la cúspide del logro humano, los filósofos islámicos parecen haberse quedado detenidos después de 400 años. Pero para los musulmanes que opinan que la búsqueda de la perfección espiritual es más importante que el dominio del mundo material a través de la razón, es la ciencia europea la que se ha equivocado de camino.

El libro más célebre de la historia de la ciencia en Europa es *Principios matemáticos de la filosofía natural*, de Isaac Newton. Este título sugiere un

inicio, un cimiento matemático a partir del cual se construyen el conocimiento del mundo físico. Por el contrario, uno de los grandes tratados árabes se denomina el *Libro de la curación*, y su objetivo es curar al lector de la enfermedad de la ignorancia. En lugar de ofrecer un punto inicial a partir del cual progresar, resume y organiza todos los conocimientos que una persona sabia necesita para buscar la plenitud espiritual. El *Libro de la curación*, coetáneo de otros estudios realizados en monasterios cristianos, fue recopilado en el siglo XI y se enmarca dentro de una importante tradición de clasificación del conocimiento en colosales enciclopedias. *El Libro de la curación* no es un árido tratado científico, sino una meditación filosófica-poética cuya finalidad es ser comprensible, y no solo contiene explicaciones detalladas de aristotelismo islámico, sino también una elaborada cosmología de inteligencias angélicas. Después de la traducción al latín de algunos de sus capítulos, el *Libro de la curación* se convirtió en un texto estándar en las universidades renacentistas a lo largo y ancho de Europa, en donde su autor, Avicena, fue considerado como un gran médico. Aunque su fama es ahora menor que la de su discípulo Ornar Khayyam (autor original del *Rubaiyat*), Avicena fue uno de los eruditos musulmanes que se convirtieron en figuras de autoridad en Europa occidental y dejaron una huella permanente en la ciencia moderna, con palabras tales como alcohol, azúcar o álcali.

Avicena es la forma latinizada de Abu Alí al-Husain ibn Síná, célebre en todo el mundo islámico no solo por sus estudios en medicina, sino también en filosofía teológica. La vida y las ideas de Avicena, como las de Ornar Khayyam y otros intelectuales, eran muy distintas de las de un científico moderno. Lejos de ser un estudioso encerrado en su espacio o un limitado especialista, Avicena era un erudito itinerante que viajó a diversas ciudades persas y ejerció diversos trabajos, como médico de la corte, soldado y administrador político, e incluso escribió algunos de sus más de cien libros a lomos de un caballo, utilizando una alforja especial que él mismo había inventado. Además de ser un médico experto, Avicena sobresalió en matemáticas y en música, efectuó investigaciones en astronomía y óptica y fue autor de un importante tratado sobre los efectos de la música en el alma. Su obra más famosa es el *Canon de medicina*. Este compendio clásico, que contiene más de un millón de palabras, fue uno de los libros más impresos (en su traducción al latín) en la Europa del siglo XVI. En él, Avicena realizaba un síntesis de sus propias observaciones (especialmente sobre la meningitis y la tuberculosis) con los conocimientos médicos anteriores.

La ciencia moderna premia en gran medida la originalidad. En cambio, el valor otorgado a los escritos de Avicena por sus contemporáneos no tenía que ver con su novedad, sino con su rigor y su sistemática organización. Igual que Newton, los sabios islámicos estudiaban el mundo porque querían acercarse a Dios y, también como en el caso de Newton, gran parte de sus vidas han desaparecido de los libros de historia para hacer que parezcan protocientíficos. Avicena predicaba la meta islámica de aspirar a la estabilidad. Para él, la comprensión de la naturaleza no era un fin en sí mismo, puesto los mundos físico, divino y espiritual están entrelazados de forma inextricable. La palabra islam significa tanto sumisión y paz, como ser uno con Dios. El propósito de Avicena no era descubrir las piezas de la estructura del Universo, sino buscar la unidad con Dios.

Aunque con frecuencia se dice que la ciencia y la religión están en guerra, los escritos sagrados islámicos ponen énfasis en que los musulmanes deben de adquirir conocimientos a lo largo de su vida como parte de su búsqueda espiritual de la perfección. A causa de esta misión sagrada, la fe islámica fomenta la educación de forma inherente. Los intelectuales como Avicena dividían el aprendizaje en dos ramas complementarias. El saber islámico revelado, con temas como la teología, la jurisprudencia y la interpretación de las escrituras, cuyo principal origen era el Qur'an, se transmitía de forma directa de una generación a la siguiente. En cambio, los temas científicos procedentes de Grecia se trataban de forma intelectual, y se apoyaban tanto en el aprendizaje como en el pensamiento independiente.

Las escuelas dependían estrechamente de las mezquitas y ponían el acento en los temas revelados. Poco a poco hicieron su aparición dos nuevos tipos de institución: los observatorios y los hospitales; estas instituciones también estaban asociadas a mezquitas, pero su programa de estudios constaba de temarios más amplios. También contenían grandes bibliotecas, porque los maestros islámicos concedían una gran importancia al estudio de los textos, especialmente después de la introducción de material nuevo y barato, el papel, que rápidamente sustituyó al papiro y al pergamino. Estos centros de educación, que unían los conocimientos antiguos con los nuevos descubrimientos, se extendieron por todo el imperio islámico y estimularon la investigación del mundo natural.

El primer gran centro de conocimiento racional fue la corte del califa de Bagdad, establecida en el siglo VIII y financiada tanto con fondos del estado como por mecenas privados. Esta famosa escuela, equipada con una inmensa biblioteca, atrajo a estudiosos de todo el imperio, que tradujeron al árabe

muchos de los textos helenísticos de la biblioteca. La recopilación y traducción de libros internacionales supuso la adaptación y adopción de las ideas griegas a la cultura islámica desde una etapa muy temprana. Los textos médicos y astrológicos proporcionaban información práctica sobre cirugía, drogas y predicción; hacia el siglo X, los expertos árabes tenían a su disposición una considerable variedad de obras. Los califas subvencionaron este prolongado y oneroso proyecto porque realzaba su imagen de mecenas cultivados, y daba estabilidad a su gobierno al fomentar la colaboración entre las personas, en lugar de la formación de subgrupos ideológicos. Aunque no tenían forma alguna de prever el efecto, sus ambiciones políticas afectaron profundamente la ciencia posterior al garantizar la supervivencia del conocimiento de los griegos.

Los observatorios astronómicos desempeñaron un papel crucial en la formación científica. El más influyente de ellos se hallaba en Maragha (Persia, el actual Irán), y fue encargado en 1261 por el nieto de Genghis Khan y financiado con fondos religiosos. Aparte de una espléndida colección de precisos instrumentos astronómicos, el observatorio de Maragha contenía una gran biblioteca que atraía a estudiantes de todas las ciencias. El plan fundamental de combinar escuela, observatorio y biblioteca se extendió por todo el mundo islámico y más tarde fue imitado por los europeos que visitaron los lugares más accesibles, como Estambul.

Los hospitales de enseñanza fueron otra de las innovaciones islámicas que afectaron profundamente a Europa. Igual que los observatorios, muchos de los hospitales fueron construidos por gobernantes o fundaciones religiosas que ejercían un considerable poder. Aparte de una escuela médica y una biblioteca, solían incorporar una mezquita y unos baños, porque la higiene, la salud y el bienestar espiritual son inseparables para los musulmanes. Para mantener un alto nivel médico en el imperio, los gobernantes examinaban a los estudiantes antes de concederles permiso para ejercer, y los hospitales solían estar regidos por médicos eminentes, que los convirtieron en centros de investigación. El ejemplo más famoso es el hospital de Bagdad, reconstruido hacia finales del siglo IX según un proyecto de su director, el persa Muhammad ibn Zakariyyá al-RázI, autor de una inmensa enciclopedia médica y célebre en Europa con el nombre de Rhazes, el Galeno árabe.

Rhazes se ha convertido en una figura legendaria, pero su reputación es polémica. Parece haber un acuerdo general en la calidad excepcional de su práctica clínica, y es célebre por haber logrado distinguir la viruela del sarampión, por el uso del opio como anestésico y por la combinación del

saber tradicional con sus propias observaciones y remedios. También fue un maestro excelente, que siguió el estilo islámico de impartir enseñanza personal en pequeños grupos en lugar de dar clases magistrales frente a un público numeroso. En Europa, los estudiantes de medicina utilizaban habitualmente los textos de Rhazes (en su traducción al latín), y los historiadores lo tenían en una alta consideración por su revisión de Galeno y por elaborar sus propios criterios. Sin embargo, en los países islámicos, Rhazes era considerado un filósofo mediocre y un musulmán heterodoxo que había osado desafiar la autoridad establecida. Las prácticas médicas representaban únicamente una parte de la vida religiosa e intelectual de un estudioso; más de dos tercios de los libros de Rhazes estaban dedicados a temas distintos de la medicina. Hasta hace poco, este aspecto de Rhazes había sido desconocido para los autores eurocéntricos, que seleccionaban los aspectos de la sociedad islámica que suponían una contribución a su propia cultura.

Otro ejemplo de reputación múltiple es el de Abu al-Walid Muhammad ibn Rushd, conocido en Europa con el nombre de Averroes. Los musulmanes opinaban que sus detallados análisis de Aristóteles eran insignificantes comparados con el enfoque enciclopédico de Avicena, cuyos intereses abarcaban todos los aspectos del saber humano y cuyas habilidades médicas tenían una inmensa trascendencia práctica. Pero en Europa, se veía a Averroes como uno de los principales comentaristas de Aristóteles, y está representado junto al propio Aristóteles, Platón, Pitágoras y otros eminentes filósofos griegos en la famosa pintura del artista del Renacimiento Rafael denominada *La escuela de Atenas*. Numerosos musulmanes se oponían a los puntos de vista filosóficos de Averroes, algunos de los cuales sobreviven en la actualidad únicamente en sus traducciones latinas y hebreas, pues las copias en árabe fueron quemadas. Sin embargo, en Europa se le tenía en gran estima por haberse atrevido a atacar la religión revelada.

Suele afirmarse que, después del siglo XIII, hubo una decadencia de la ciencia en el imperio islámico, como si los eruditos musulmanes no hubiesen sido lo bastante inteligentes para ocupar el terreno intelectual que habían obtenido de los griegos. Después de que los intelectuales islámicos hubiesen portado con tanto éxito la antorcha griega del progreso, ¿por qué abandonaron antes de terminar la carrera? Los historiadores de la ciencia árabe se lamentan de situaciones similares a las identificadas por Needham en el caso de China, que intentó comprender de qué modo un país tan avanzado desde un punto de vista científico fue incapaz de mantener su liderazgo. Como Needham, los

historiadores árabes han estado haciéndose las preguntas equivocadas, porque se equivocan al asumir que la ciencia es un proyecto unificado para alcanzar la Verdad Absoluta.

Las razones por las que el tipo de investigación científica que se practicaba en el imperio islámico dejase de prosperar son diversas. Los cambios políticos tuvieron una importancia crucial. La vida intelectual floreció en el mundo islámico mientras duró la paz, pero decayó más adelante con el desvío de fondos hacia la financiación de ejércitos y de cultivos agrícolas. Especialmente después de la conquista del Nuevo Mundo por Europa, el comercio y la riqueza se trasladaron hacia el oeste, y los gobernantes islámicos perdieron su dominio cuasiglobal. Otro de los factores fue la organización social. Los sistemas jurídicos y educativos islámicos favorecían la transmisión de los conocimientos de un erudito a otro en grupos reducidos, una estructura que fomenta la estabilidad y dificulta los contrastes de pareceres. En cambio, las universidades de Europa animaban al debate entre intelectuales, que desafiaba e invalidaba los conocimientos establecidos, actividades que los musulmanes ortodoxos, que valoraban la sabiduría como fin para lograr el crecimiento espiritual, consideraban heréticas.

Tanto fuera como dentro de Europa ha sido una actitud habitual acusar a otros de retrógrados. Si entendemos el pasado de la ciencia según el modelo progresivo de Búsqueda de la Verdad, al final del siglo XVIII Inglaterra se quedó atrasada respecto de Francia por no expresar las leyes de la física en forma de complejas ecuaciones matemáticas. En retrospectiva, podría parecer que los franceses eligieron un mejor camino hacia el futuro. Sin embargo, si los hombres de ciencia ingleses rechazaron explícitamente las técnicas matemáticas no fue porque no fueran capaces de entenderlas, sino porque creían que los símbolos algebraicos tenían una relación escasa con el mundo real. Sus argumentos eran que dominar la manipulación matemática y descifrar los misterios divinos que debían permanecer ocultos era un signo de soberbia condenado por Dios. Así mismo, numerosos intelectuales islámicos veían con malos ojos la búsqueda del conocimiento por sí mismo. Después de tomar de los griegos todo aquello que pudiese resultarles útil, se concentraron en otro tipo de progreso: lograr la felicidad y la perfección espiritual.

4 - Intelecto

El Doctor estaba muy versado en los autores antiguos de la clase médica: Esculapio, Dioscórides, Rufo, Hall, Galeno, Serapio, Rhazes, Avicena, Averroes, Damasceno, Constantino, Bernardo, Gaddesden y Gilbert.

Geoffrey Chaucer, Prólogo de los *Cuentos de Canterbury* (c. 1387-1400)

A mediados del siglo IX, el proyecto de traducción del califa en Bagdad estaba en pleno apogeo. El objetivo no consistía únicamente en absorber conocimientos anteriores, sino también en transformarlos para que pudieran asimilarse en la cultura islámica. Como explicaba uno de los matemáticos del califa, todo debía hacerse «según los usos de nuestra lengua árabe [y] las costumbres de nuestra época». Los musulmanes, escribía, estaban embarcados en una búsqueda continua del conocimiento humano, con dos metas: «registrar en textos completos todo aquello que los antiguos habían dicho al respecto de cada tema y completar aquello que no habían expresado en su plenitud»[12].

El término «antiguos» no solo abarcaba a los griegos. La región islámica iba desde Andalucía hasta Uzbekistán, y en ella no solo había musulmanes, sino también cristianos y judíos, de modo que sus habitantes heredaron un inmenso fondo de ideas combinadas de distintas civilizaciones. Aunque el principal legado intelectual era de origen griego, hizo su entrada en el imperio a través de Alejandría, por lo que ya entonces era el producto de muchas mentes e influencias. Junto a los comerciantes y sus mercancías, los intelectuales recorrían todo el imperio, intercambiando ideas derivadas de numerosas tradiciones antiguas, tanto griegas como de otros orígenes —indias, persas—, y la peregrinación anual a La Meca suponía un acicate para esta mezcla de culturas dispares. No existía un cuerpo uniforme de conocimientos idénticos; el término «ciencias árabes» resulta útil y significativo, ya que el hecho de compartir el idioma permitía a los intelectuales viajar y compartir ideas hasta un punto que no tenía parangón en otras regiones del mundo.

Los eruditos islámicos distinguían dos grupos principales en el conocimiento científico, ninguno de los cuales se corresponde claramente con las disciplinas científicas modernas. Una de las estrategias consistía en seguir a Pitágoras y continuar el orden matemático que se hallaba en el corazón del Universo mediante el estudio de cuatro disciplinas de carácter cuantitativo: aritmética, geometría, astronomía y música. Aunque ahora nos parecen muy distintas, más adelante también se agruparon en los programas académicos de las universidades europeas. Otros estudiosos optaban por una vía más aristotélica y descriptiva. Además de observar los animales, las plantas y los minerales, dedicaban esfuerzo al estudio de temas que actualmente se incluirían como parte de la física; especialmente, de la óptica. Desde un punto de vista teológico, estos intelectuales abrazaban la idea de Aristóteles de un cosmos teleológico, con un objetivo, puesto que se correspondía con la creencia islámica de que Dios creó el universo expresamente para la raza humana.

Álgebra, algoritmo, cero: tres conocidas palabras matemáticas de origen árabe. A los musulmanes les atraían las matemáticas de Pitágoras, porque concordaba con su propio gusto por la armonía y su búsqueda de un orden universal. El arte y la arquitectura tradicionales en el Islam revelan claramente esa fascinación por la geometría y la simetría. En la Figura 8**[f8]**, las tejas y las columnas de un observatorio astronómico están dispuestas según un patrón repetitivo, de igual modo que los árboles del exterior. Esta característica estética surge del mismo corazón de la fe islámica, que implica avanzar por los escalones de una escalera numérica desde el confuso mundo de la multiplicidad hasta el orden supremo de la Unidad, o Dios. Cuando los musulmanes conocieron la obra de los matemáticos griegos en su traducción árabe, pudieron leer acerca de una espiritualidad cuantitativa paralela a la suya propia.

Los matemáticos islámicos buscaban trascendencia cósmica y numérica en los cuadrados mágicos, cuyas filas, columnas y diagonales suman el mismo resultado. También lidiaban con problemas matemáticos que se han convertido en clásicos, como averiguar cuántos granos de trigo se acumularían si pusiésemos uno en el primer escaque de un tablero de ajedrez, dos en el segundo, cuatro en el tercero, etc., duplicando la cantidad hasta la casilla número sesenta y cuatro, que contendría un volumen de grano tan inmenso que sería inabarcable. Ese enigma específico fue resuelto en el siglo XI por Abü Raihän al-Bïrünï, una de las grandes mentes del imperio. En aquella época, la importancia de al-Bïrünï era similar a la de su colega Ibn

Sïnä (Avicena), pero su obra no se tradujo al latín, por lo que no fue conocido en Europa. Igual que otros intelectuales islámicos, al-Bïrünï era más un erudito que un científico a la usanza moderna. Sus libros de texto sobre matemáticas y astronomía se utilizaron durante siglos, y también alcanzó fama como historiador y por su exhaustivo estudio de las distintas religiones.

Los objetivos de los astrónomos eran múltiples. Por un lado pretendían medir el universo con mayor precisión y recopilar catálogos estelares completos, pero también aspiraban a lograr la pureza religiosa demostrando la perfección de los cielos. Muchos europeos —incluido Newton— concibieron también un cosmos matemático, armónico y pitagórico como parte de la creación de Dios. Los matemáticos musulmanes visualizaban los números como formas geométricas con un sentido simbólico; por ejemplo, el tres estaba conectado con el triángulo de la armonía, y el cuatro, con el cuadrado de la estabilidad. Ellos originaron la idea de introducir medidas en la música, una innovación que revolucionaría el canto gregoriano cristiano en la Europa del siglo XII, cuando se empezó a especificar el valor temporal de cada nota en las partituras. Las representaciones geométricas y las relaciones numéricas estaban vinculadas a los intervalos entre notas musicales, las implicaciones espirituales y las proporciones del universo.

La importancia de la astronomía matemática se extendía a sus usos prácticos, como la elaboración de horóscopos para los gobernantes que tenían que tomar decisiones transcendentales. La fe islámica imponía condiciones especiales, y las actividades que ahora se perciben como científicas tenían, en realidad, una motivación religiosa. Los calendarios debían satisfacer los requisitos del ayuno ritual, garantizando que todos los musulmanes sufriesen tal privación en la misma medida y condiciones, viviesen donde viviesen. Los habitantes de todos los rincones del imperio necesitaban saber las horas de las oraciones diarias, así como la dirección de La Meca. En las mezquitas de los observatorios, personas encargadas de la medida del tiempo efectuaron exhaustivas observaciones astronómicas, y matemáticos como al-Bïrünï midieron las coordenadas geográficas hasta un grado de exactitud sin precedentes.

Al haber adoptado y adaptado la astronomía griega, los expertos basaban sus estudios esencialmente en el *Almagesto* de Ptolomeo, en el que se hace hincapié en la importancia de la observación. En sus trabajos, los astrónomos islámicos desarrollaron sofisticados instrumentos, que más tarde fueron imitados en Europa, para poder efectuar medidas más precisas y recopilar nuevos catálogos de estrellas. En la Figura 8 se muestra un pequeño

observatorio en Estambul cuyo principal logro fue el seguimiento de un cometa excepcionalmente brillante en 1577. Por desgracia, el astrónomo interpretó esta visita como un buen augurio. Tras diversas plagas y muertes, el observatorio fue destruido como advertencia para abstenerse de husmear en los secretos sagrados. Sin embargo, su construcción responde a las especificaciones tradicionales, de modo que ofrece una ilustración adecuada de la astronomía islámica.

En esta imagen de construcción geométrica, el valor concedido a los libros queda patente en los estantes de la parte superior derecha. En la imagen se muestran quince astrónomos divididos en tres equipos, que trabajan con una gran variedad de instrumentos; todos ellos se convirtieron en objetos de uso estándar en la Europa del Renacimiento, incluido (a la derecha) un reloj mecánico, cuyo mecanismo podría tener origen chino. El doble círculo que aparece justo debajo de los libros es el más famoso y más importante de los instrumentos islámicos: un astrolabio, un modelo de los cielos compuesto de elaboradas placas giratorias imbricadas entre sí. Se dice que el primer astrolabio se inventó en Grecia, cuando a Ptolomeo se le cayó una esfera armilar y su burro la pisó; un cuento apócrifo pero, desde un punto de vista matemático, una buena descripción. Esta versión islámica plana del universo griego se convirtió en uno de los instrumentos preferidos de los astrónomos renacentistas, y fue el tema de un tratado ilustrado de Chaucer. El uso del astrolabio se extendió durante un largo período porque se trataba de un instrumento portátil y susceptible de ser utilizado para diversas funciones: la medida del tiempo, la elaboración de predicciones astrológicas y la exploración. Los europeos hurtaron numerosos ejemplares de latón de gran belleza que ahora se muestran en los museos occidentales.

Aunque los astrónomos islámicos siguieron los pasos de Ptolomeo, también lo criticaron y, lo que es más importante, mejoraron su trabajo. Mediante la recopilación exhaustiva de datos de gran precisión, modificaron sus descripciones acerca de los movimientos aparentes del Sol y de la Luna e introdujeron métodos trigonométricos más eficaces para el cálculo de coordenadas estelares. Los lectores modernos no se sorprenderán de que los eruditos islámicos tuviesen grandes dificultades en conciliar sus observaciones con el complicado sistema de Ptolomeo, que incluía planetas que aceleraban y frenaban. Un grupo decidió revisar el modelo de Ptolomeo mediante el desarrollo de procedimientos geométricos similares a los introducidos por Copérnico; expertos modernos están revisando la historia

eurocéntrica tratando de demostrar que Copérnico conocía estas ideas islámicas.

La astronomía islámica no era una disciplina única. Tanto los matemáticos pitagóricos como los filósofos aristotélicos miraban hacia Ptolomeo, pero lo hacían desde direcciones distintas. Los matemáticos trataban de describir y cuantificar el comportamiento del mundo, no de explicarlo; en cambio, los filósofos aristotélicos aspiraban a generar una versión más realista y sólida del universo de Ptolomeo, que casase en mayor medida con los conceptos islámicos. Durante años, al-Bïrünï consideró la posibilidad de un universo heliocéntrico, y parece tentador reconocer que llegó a la respuesta correcta antes que Copérnico. Sin embargo al-Bïrünï era matemático; para él, su misión no era preocuparse de si el Sol estaba en el centro del Universo o era, en cambio, la Tierra. Como él mismo señaló, desde el punto de vista de los cálculos, no tiene importancia si el Sol gira alrededor de la Tierra, o viceversa. Finalmente decidió optar por el modelo geocéntrico tradicional y dejar que fuesen los filósofos los que se preocupasen de los problemas teológicos.

Uno de los filósofos aristotélicos más influyentes de la época fue Abu Ali al-Hasan ibn al-Haitham, un experto en óptica del siglo x conocido en Europa como Alhacén. Tras caer en desgracia por haber sido incapaz de controlar las inundaciones del Nilo, Alhacén fingió locura y se quedó en Egipto, en donde prosiguió discretamente con sus propias investigaciones. Alhacén intentó imponer la realidad física a los modelos cosmológicos introduciendo esferas concéntricas, tal como había sugerido Aristóteles. Imaginaba un cielo exterior sin estrellas, dentro del cual gira lentamente una esfera que transporta las estrellas fijas. Dentro de ella, afirmaba, cada planeta estaba asociado con su propio conjunto de esferas de lenta rotación.

Las traducciones latinas de Alhacén y otros aristotélicos islámicos extendieron por Europa la influencia de las esferas rotatorias y variantes de las mismas durante siglos. Desde el punto de vista estratégico del científico, estas fusiones islámico-aristotélico-ptolemaicas adolecen de numerosos inconvenientes. Entre los más obvios se encuentran la dificultad para explicar de qué modo las esferas evitan chocar entre sí y cómo hacen los cometas para atravesarlas sin desviarse. Para los musulmanes y para los cristianos, no obstante, estos modelos satisfacían de forma completa diversas cuestiones de importancia. Los creyentes imaginaban un universo estable, ordenado y finito, que situaba a la raza humana en el centro de la creación de Dios de acuerdo con sus escrituras sagradas.

El legado principal de Alhacén fueron sus duraderos trabajos en óptica. Incluso durante el Renacimiento, los experimentadores veían los conocimientos griegos a través de los ojos de Alhacén. Aunque se le suele considerar el más importante de los físicos musulmanes, la visión del mundo de Alhacén era muy distinta de la de un científico de nuestros días. Por poner un ejemplo, hacía caso omiso de los límites entre las diversas disciplinas. En lugar de reservar el estudio de la vista humana a los anatomistas y los fisiólogos, Alhacén lo relacionaba con los fenómenos atmosféricos y con los experimentos sobre lentes y espejos.

Algunas de las teorías modernas sobre reflexión y refracción tienen su origen en la obra de Alhacén. Alhacén, como Newton, pulía sus propias lentes, estudiaba la anatomía del ojo humano y reflexionaba acerca del iris. También como Newton, creía que Dios era la Luz de los cielos y de la Tierra, una imagen coránica de resonancias bíblicas. Más allá de todo ello, Alhacén creó una nueva teoría de la visión. Aunque ahora parece algo obvio, Alhacén argumentaba que las personas podíamos ver por la luz que procedía del objeto que miraban. Alhacén heredó de Grecia tres opiniones distintas, y las sintetizó en un estudio unificado. Los matemáticos como Euclides trazaban diagramas geométricos como si la luz emanase de nuestros ojos; no les interesaba comprender cómo ven las personas, sino llegar a un modelo geométrico que describiese lo que sucedía. En cambio, Aristóteles, como filósofo, tenía un pensamiento cualitativo y buscaba las causas; según su opinión, un objeto afecta al medio (generalmente, el aire) que lo rodea, y esta alteración es la que se transmite al ojo. Finalmente, como médico, Galeno examinó las estructuras fisiológicas de los ojos. Combinando estos tres puntos de vista, Alhacén dedujo las matemáticas implicadas en el recorrido de la luz desde el exterior hacia el interior del ojo, en lugar de en sentido contrario.

La óptica formaba parte tanto de la medicina como de la ciencia. Las enfermedades oculares eran comunes en Egipto debido al polvo del desierto, y las investigaciones de Alhacén se tradujeron en grandes avances terapéuticos. Las palabras «droga», «retina» y «catarata» son de origen árabe, y la medicina islámica mantuvo su posición prevalente en Europa hasta entrado el siglo XVII, en especial a través de las versiones latinas de los trabajos de Rhazes y Avicena. Los expertos islámicos adoptaron muchas de las teorías de Galeno e integraron su versión de la medicina hipocrática con las prácticas persas e indias tradicionales, generando compendios exhaustivos y sistemáticos que abarcaban todos los aspectos de la prevención, el diagnóstico y el tratamiento.

Además de mejorar la anatomía y la filosofía médica de los griegos, los médicos islámicos desarrollaron también nuevas técnicas farmacológicas; además, sus colosales enciclopedias médicas permitieron que los conocimientos griegos sobre minerales, animales y plantas llegasen a Europa. El trabajo de Dioscórides, manuscritos bellamente ilustrados en los que se describían alrededor de novecientas drogas, fue una de las principales fuentes de conocimiento empleadas. A mediados del siglo XIII, los investigadores árabes habían multiplicado por tres esa cifra. Como la mayor parte de medicamentos procedían de las plantas, la búsqueda de tratamientos más eficaces se traducía en unos conocimientos botánicos generalmente detallados y exactos. En cambio, las descripciones de los animales solían transmitirse por boca-oreja, así que los dibujos tenían más que ver con la mitología que con la realidad.

La condición de médico iba más allá del tratamiento de los síntomas; los médicos islámicos eran personas virtuosas para quienes las afecciones de sus pacientes formaban parte de los patrones del cosmos entero. En árabe y en muchos otros idiomas, las palabras que expresan «respiración» y «alma» están muy relacionadas, de modo que restablecer la vida del cuerpo implica también nutrir el alma. De igual forma que los matemáticos islámicos sintieron una empatía instintiva con el simbolismo numérico de la cosmología pitagórica, los filósofos médicos hallaron que sus doctrinas teológicas de alentar la armonía y el equilibrio encajaban bien con la teoría griega de los humores. Estos eruditos seleccionaron y desarrollaron los aspectos de la filosofía griega que mejor se adaptaban a la teología islámica, e insistían en que los seres humanos no solo formaban parte del Universo, sino que eran versiones en miniatura de él. Para los musulmanes, cada individuo se refleja en el cosmos, y este es a su vez una imagen especular de la vida. Este modelo de macrocosmos-microcosmos de la humanidad que ahora nos parece singular tuvo una tremenda resonancia en la Europa del Renacimiento.

En la época renacentista, los médicos y los filósofos naturales europeos habían tomado los logros islámicos anteriores y los habían impulsado hacia nuevas direcciones. Mientras que la economía europea estaba en pleno apogeo, el poder del imperio otomano estaba en franca decadencia, y se disponía de menos dinero para invertir en investigación pura sin un beneficio inmediato. En todo caso, no todos los filósofos musulmanes estaban de acuerdo en que una mayor comprensión del mundo natural fuese algo a lo que mereciese la pena aspirar. Al-Bïrünï compartía con Newton la meta de edificar sobre el pasado griego. Mientras que Newton deseaba subirse sobre

los hombros de gigantes para ver más allá, al-Bïrünï animaba a sus colegas intelectuales a «limitarse a aquello que ya habían tratado los antiguos y mejorar lo que pudiese mejorarse»[13].

5 - Europa

Hasta yo puedo recordar el día en que los historiadores dejaron en blanco sus páginas por todas aquellas cosas que ignoraban.

Ezra Pound, *Draft of XXX Cantos* (1930)

Galileo, tratando de convencer a sus lectores de que sus poco convencionales ideas eran ciertas, creó un oponente de ficción al que llamó Simplicio, caracterizado como simple de mente, pedante y obstinado. Para completar la caricatura, Galileo convirtió a Simplicio en un erudito medieval. La Edad Media se inventó en el Renacimiento; cuando Galileo provocó su controversia, a principios del siglo XVI, ya había quedado relegada a una página en blanco de la historia. Igual que Galileo y sus contemporáneos, numerosos historiadores han desestimado la Edad Media como un lamentable interludio de arcano escolasticismo, un obstáculo al progreso de la ciencia, que dio comienzo alrededor del siglo V y que finalmente se esfumó ante el huracán de inspiración del Renacimiento.

La realidad es que todo depende de cómo y dónde se mire. Durante esos siglos suprimidos tuvieron lugar transformaciones cruciales, pero no los estudios de los eruditos, sino en los campos, las forjas, las iglesias y los monasterios. La ciencia es un asunto práctico, no solo teórico, y en su origen no solo se hallan ideas, sino también objetos. Los cambios políticos, científicos y económicos son inseparables. Después de la fundación del Sacro Imperio Romano en el año 800 por Carlomagno, la economía europea resurgió con los señores feudales franceses, cuyo control sobre vastas propiedades impuso estabilidad. Estos señores feudales invirtieron capital en el desarrollo de inventos que les ayudasen a incrementar su hacienda y su poder. En este nuevo régimen de comercialización competitiva, las innovaciones técnicas aumentaron la eficacia de los métodos de cultivo y de fabricación. Con el incremento de los beneficios se pudo disponer de fondos para dedicarlos al estudio puro; a finales del siglo XIII, Europa occidental ya no era un territorio rural empobrecido, sino que se había convertido en una

próspera región comercial en la que la educación florecía en las ciudades independientes.

Las invenciones técnicas que ahora nos parecen humildes tuvieron un impacto revolucionario en la sociedad, tanto como la máquina de vapor varios siglos más tarde. Por ejemplo, los nuevos arneses para las caballerías pueden parecemos una innovación menor, pero contribuyeron a reducir de forma espectacular la mano de obra esclava que había contribuido al sostén de los imperios griego y romano. Desarrollos mecánicos básicos como los engranajes permitieron que los molinos aprovechasen más eficientemente la fuerza del viento y del agua, mientras que innovaciones en la agricultura como arados, rotación de cosechas, cría animal o sistemas de irrigación, ayudaron a garantizar la regularidad en el suministro de alimentos. Al mismo tiempo, los descubrimientos en metalurgia permitían elaborar armas más eficaces, mientras que los nuevos procesos químicos permitían crear tratamientos médicos, tintes y utensilios para el hogar. Todas estas mejoras tecnológicas contribuyeron a estimular la investigación, ya que liberaban a las personas de trabajos que consumían su tiempo y ayudaban a crear excedentes de dinero.

Estos cambios tecnológicos no se introdujeron por su aportación al conocimiento, sino por su utilidad. Pero, de hecho, las mejoras técnicas prácticas sentaron unos sólidos cimientos para las ciencias del futuro. Los terratenientes ricos estaban dispuestos a pagar buen dinero por equipos mejores, lo que estimuló de forma indirecta las investigaciones en mecánica y química que, en la actualidad, serían consideradas científicas. Los observadores de estrellas poco interesados en las teorías astronómicas acumularon los datos y técnicas necesarios para determinar la fecha de la Pascua, calcular el rumbo de un buque o saber la hora. De forma similar, las habilidades de los herboristas de aldea y los curanderos de monasterio se filtraron más adelante en la farmacología, la botánica y la mineralogía, mientras que los campesinos ya eran expertos en asuntos de meteorología, biología y geología mucho antes de que estas disciplinas recibiesen un nombre propio y se convirtiesen en ciencias, en el siglo XIX.

Tanto antes como después de la recuperación económica de Europa, los monasterios fueron lugares de importancia capital en los que el saber se valoraba por sí mismo. Los monjes desempeñaron un papel esencial en la historia científica de Europa por su dedicación a los textos seculares, aparte de los religiosos. En lugar de rechazar los conocimientos de la Antigüedad como paganos, los eruditos monásticos decidieron que podían serles útiles en

su afán de acercarse a Dios mediante la interpretación de la Biblia, y debatieron una gran variedad de ideas filosóficas relacionadas con sus estudios piadosos. Aunque se suele percibir la actitud de la religión como hostil a la ciencia, el cristianismo fue el responsable de la conservación del saber académico en Europa.

En particular, los monjes perpetuaron la práctica romana de recopilar enciclopedias. Numerosos argumentos teológicos giraban alrededor del modo y la razón por la que Dios había creado tantas formas de vida; estos argumentos estimularon observaciones detalladas que más adelante fueron clave para las ciencias de la vida. Entre los muchos trabajos que los monjes aprovecharon, destaca como fuente de información la obra de Plinio, un oficial militar romano del siglo I obsesionado con la acumulación de datos. Su colosal *Historia natural*, elaborada a partir de trabajos de un centenar de autores, contiene unos veinte mil datos (algunos bastante sospechosos, como el hecho de que los castores se castrasen al percibir la proximidad de un cazador) y representa una compilación exhaustiva de los conocimientos grecorromanos. Mediante la adaptación y la incorporación de los clásicos en sus propios textos, los estudiosos monásticos lograron que escritores como Plinio se siguiesen considerando autoridades de importancia.

A medida que la riqueza y el poder de Europa occidental aumentaba, los centros religiosos siguieron siendo lugares esenciales para la ciencia futura. Un ejemplo excelente lo tenemos en la catedral de Chartres, que fue consagrada en 1260 después de sufrir una serie de incendios y que representa una bella expresión del nuevo énfasis en la luz y el orden estético de la arquitectura gótica. La estructura de este edificio cristiano representa los ideales platónicos de un cosmos matemáticamente organizado. Para los platónicos, el mundo material percibido por las personas no es la propia realidad. Los diseñadores humanos crean formas geométricas imperfectas, mientras que los perfectos triángulos, cubos y esferas platónicos son inmutables y eternos y, a pesar de no poder verse directamente, la existencia de estas formas ideales garantiza la posibilidad de concebirlas de forma matemática. Para explicar estas ideas tan opuestas a la intuición, Platón utilizó la analogía de unos prisioneros atados y con anteojeras, a los que solo se permite ver las sombras oscilantes de los objetos que una gigantesca hoguera genera sobre el muro de una caverna. Si se libera a un prisionero, este quedará cegado por la luz de sol procedente de la entrada, de manera que percibirá con mayor claridad el mundo de sombras, que tan bien conoce, que el mundo real.

La catedral de Chartres ilustra la relación entre la religión, el comercio y la vida cotidiana durante el desarrollo del punto de vista científico del mundo. La catedral no era únicamente un lugar de culto, sino un modelo de la visión medieval del Universo: Dios era el arquitecto divino, y la armonía geométrica de Chartres representaba su creación. Los arquitectos humanos pensaban y trabajaban de forma geométrica, y las proporciones de sus edificios remedaban las armoniosas y divinas relaciones de la música y del Universo.

La catedral, la economía y el conocimiento especializado crecieron de la mano. La construcción de Chartres no fue solo una misión religiosa, sino un proyecto comunitario que supuso trabajo para todos, estimuló la inventiva e impulsó las empresas locales. Chartres está repleta de innovaciones tecnológicas inspiradas por las demandas teológicas de un techo elevado y de una iluminación divina. Para crear un espacio inmenso, pero también estable y estructurado, los arquitectos de la catedral idearon nuevos conceptos arquitectónicos, como los arbotantes, y estimularon el interés por la mecánica matemática. De forma similar, los artesanos del vidrio y del metal desarrollaron nuevos procesos químicos para la producción de vitrales, de luminosos colores y formas geométricas. Los comerciantes hicieron donaciones para proteger sus almas y para expresar gratitud por sus beneficios. Los vitrales, pagados por los gremios locales, no muestran únicamente escenas bíblicas, sino que también celebran a los artesanos de la ciudad. Por ejemplo, en una de las secuencias se muestra la imagen más antigua conocida de un modesto pero vital invento que permitió emprender esta ambiciosa construcción: la carretilla. En esta catedral, lo mundano y lo científico se combinan con lo sagrado. Chartres y otras catedrales medievales no solo dominaron las actividades de los habitantes locales, sino que afectaron en gran medida el futuro al modificar la relación de las personas con el tiempo. La ciencia y la tecnología modernas precisan de la medida del tiempo hasta minúsculas fracciones de segundo; esta visión cuantitativa de la experiencia cotidiana surge de los rituales monásticos. Mientras que las oraciones de los musulmanes y los judíos se basaban en la posición del Sol en el cielo, los cristianos devotos rezaban a intervalos regulares que estructuraban su rutina diaria. Aun antes de la invención de los relojes mecánicos, las catedrales anunciaban sus servicios mediante campanas, cuyo repique convocaba a los fieles siete veces al día.

La sustitución de los ritmos de la naturaleza por los rituales religiosos hizo surgir un nuevo concepto del tiempo. La visualización del tiempo como algo mensurable que transcurre a un ritmo uniforme parece ahora algo

instintivamente obvio. Sin embargo, hace siete siglos, se trataba de un concepto sorprendente para casi todas las personas, cuyas vidas estaban gobernadas por luz y oscuridad, verano e invierno, siembra y cosecha. Por extraño que nos parezca, las horas que registraban los artefactos tradicionales para medir el tiempo, como los relojes de sol o de agua, eran de longitud variable, puesto que lo que hacían era medir doce unidades entre la salida del sol y el ocaso. Así, durante el prolongado período de luz diurna del verano, estas unidades duraban más que en invierno (y viceversa). Milán entró en la historia de la medición del tiempo en 1336, cuando el reloj de una de sus iglesias marcó por primera vez veinticuatro horas iguales.

En lugar de seguir los ritmos diarios y estacionales creados por Dios, los relojes mecánicos segmentaban artificialmente el tiempo en bloques de duración uniforme. A finales del siglo XIV, varias catedrales europeas presumían de prominentes torres con reloj que se alzaban hacia Dios pero, al mismo tiempo, controlaban la vida en la tierra. Aunque no eran muy precisos —los mejores perdían quince minutos al día—, estos relojes de iglesia modificaron de forma irrevocable la participación de los seres humanos en el mundo. En lugar de responder a los patrones de la luz natural, las personas empezaron a considerar sus vidas divididas en unidades iguales determinadas de forma arbitraria y mecánica. La ciencia se basa en la precisión de las medidas y la coordinación global y, sin embargo, este método de control mediante la medición del tiempo fue introducido por los monjes cristianos.

Además de dividir el tiempo en bloques iguales, los relojes contribuyeron a la transferencia del poder de la Iglesia a los gobernantes seculares; en 1370, el rey de Francia ordenó que los relojes de todas las parroquias de París se sincronizasen con el suyo. La imposición de un orden en el tiempo tuvo también consecuencias en la economía. «Recordad: el tiempo es oro», advertía el austero experto en electricidad Benjamín Franklin a los comerciantes en el siglo XVIII. Este proverbio, tan famoso en nuestros días, hubiese horrorizado a los cristianos tradicionales: para ellos, el tiempo pertenecía a Dios y no se podía vender. Los intereses sobre los préstamos estaban prohibidos por las autoridades eclesiásticas, que afirmaban que era inmoral sacar provecho de este regalo divino. Sin embargo, con el florecimiento económico de Europa, estas mismas autoridades se convencieron poco a poco de que la resistencia era fútil. Los vitrales de Chartres refrendaban las prácticas comerciales, ya que mostraban cambistas cambiando y pesando monedas de oro. Mientras que los musulmanes practicantes siguen teniendo prohibido tomar una hipoteca, las autoridades

cristianas ajustaron sus principios religiosos para dar cabida a un sistema de crédito capitalista que dominó Europa y sostuvo sus propias riquezas.

Los eruditos cristianos de los tiempos medievales influyeron también de forma espectacular en la ciencia por venir. La escuela monástica de Chartres fue uno de los principales centros formativos de Francia durante dos siglos, y en ella se impartían enseñanzas clásicas junto con las cristianas. Los estudiantes no se inscribían en escuelas específicas, sino que se hacían discípulos de maestros individuales, y entre los distinguidos intelectuales de la catedral se hallaba Bernardo de Chartres, que dijo en el siglo XII (la cita se suele atribuir a Newton): «Si he visto más lejos que los otros hombres es porque me he aupado a hombros de gigantes». Bernardo tenía en mente a dos gigantes: uno de ellos era la Biblia; el otro, Platón (o la versión distorsionada y condensada que había sobrevivido en sus traducciones). Esta combinación de herencia clásica y cristiana caracterizaba el tipo de enseñanzas que recibían los estudiantes. La escuela entró gradualmente en decadencia, pero no por la cerrazón de su programa, sino porque Chartres siguió siendo una ciudad pequeña cuya educación estaba dominada por la catedral. En cambio, el cercano París creció rápidamente hasta convertirse en una importante ciudad comercial. Como otros centros igualmente prósperos, París empezó a atraer a destacados eruditos; pequeños grupos empezaron a separarse de la Iglesia para formar sus propias organizaciones independientes: las universidades.

Las universidades eran instituciones únicas que diferenciaban el aprendizaje en Europa de lo que sucedía en el resto del mundo. En 1200, Europa poseía ya tres: Bolonia (la primera), París y Oxford; durante los tres siglos posteriores se fundaron alrededor de setenta universidades más, en ciudades ansiosas de darse publicidad. Las universidades se convirtieron en instituciones poderosas, que podían negociar tanto con el estado como con la Iglesia. De un modo similar a los gremios, se gobernaban a sí mismas, pero también gozaban de privilegios especiales para sus miembros, a los que se consideraba distinguidos protectores de esotéricos conocimientos. Esta protección suponía que, aparte de su rol principal como enseñantes, los intelectuales medievales podían discutir ideas controvertidas de forma relativamente libre.

Incluso antes, algunos estudiosos monásticos ya habían empezado a modificar sus visiones de Dios. Los conocimientos clásicos heredados a través de los enciclopedistas les hicieron apartarse de la visión tradicional de un Dios que era la causa directa e inmediata de todo lo que sucedía en el Universo. En vez de eso, los teólogos progresistas sostenían que la naturaleza

era más bien una máquina armoniosa que había sido diseñada por Dios pero funcionaba de forma independiente (dejando aparte los milagros y portentos sobrenaturales que demuestran Su ocasional intervención). Este cambio de orientación teológico hacia un cosmos que se autorregulaba fue fundamental, ya que alentaba a los intelectuales a no limitar su estudio a la Biblia, sino también a estudiar el mundo que les rodeaba. Para obtener información sobre el Universo y su funcionamiento, intentaron recuperar los antiguos conocimientos de los griegos, que habían perdido peso en la Europa de habla latina, pero habían sido conservados y modificados en el imperio islámico. Cuando, a finales del siglo XII, se pudo disponer de traducciones al latín, los estudiosos universitarios llevaron esta herencia griega y árabe hacia nuevas metas.

No hubo ruptura alguna con el pasado para cambiar a un estilo de pensamiento científico. En lugar de inventar programas de estudios nuevos para sus alumnos, los profesores de las universidades modificaron los antiguos planes de estudios griegos. En Chartres, una escultura de piedra muestra siete figuras que representan las siete artes liberales, que seguían dominando los conocimientos impartidos en las universidades. En la Figura 9**[f9]**, procedente de una conocida enciclopedia de la época denominada *Margarita Philosophica* (*La perla filosófica*), estas mismas siete figuras aparecen reunidas en la mitad inferior del ciclo/círculo de la sabiduría. Cada una de ellas se identifica por su nombre en latín en la corona circular y por el objeto que sostiene, como una lira para la música, un compás para la geometría o una esfera para la astronomía. Aristóteles aparece en la esquina inferior izquierda, y su obra dominaba la enseñanza universitaria: el ángel de tres cabezas representa las tres divisiones de la filosofía aristotélica: natural, racional y moral.

Las universidades organizaban la enseñanza en una estricta jerarquía que reflejaba su origen dual griego y cristiano. El escalón más alto lo ocupaba la teología. En el siguiente nivel se encuentran la lógica (racional) y la filosofía natural; los estudiantes medievales debían dominar ambas materias antes de que se les permitiese ingresar en la Facultad de Teología, en la que —condenadas autoridades eclesiásticas— pasaban años enfrascados en el estudio de textos en lugar de buscar la santidad. En la base de la pirámide se hallaban las diversas artes liberales, divididas en dos grupos denominados según las palabras latinas que significan «cuatro» y «tres»: el *quadrivium* de la astronomía, la geometría, la aritmética y la música, y el *trivium* de la retórica, la gramática y la lógica (véase la Figura 9). Las materias del

quadrivium sostuvieron el diseño de Chartres, como el reflejo terrenal de un universo platónico. En las universidades medievales, el *quadrivium* se transformó gracias a las nuevas traducciones disponibles del árabe y del griego y se convirtió en un cuerpo de conocimientos importante para la ciencia posterior; en cambio, el *trivium* se percibía como inferior y, de hecho, la palabra «trivial» tiene aquí su origen.

Estas materias eran simbolizadas por musas y diosas femeninas, a pesar de que las mujeres tenían prohibido estudiar en las universidades y apenas tenían acceso a las siete artes liberales, que estaban reservadas a los hombres; y no a todos, sino a gentilhombres privilegiados que estudiaban de los libros, desdeñaban el trabajo manual y adquirían conocimientos teóricos, no prácticos. En latín, *liber* significa tanto «libre» como «libro», y la educación estaba destinada a producir ciudadanos cultivados, no trabajadores capaces de ganarse la vida. En el *quadrivium*, cada una de las librescas artes liberales tenía su equivalente mecánico adecuado para las clases inferiores. Por ejemplo, los constructores utilizaban la geometría para alzar puentes; los comerciantes efectuaban operaciones aritméticas, los navegantes empleaban las estrellas para trazar su rumbo y los músicos tocaban sus instrumentos musicales. La educación era para los ricos, y ganar dinero con el trabajo físico era visto como degradante, una actitud que se mantendría durante siglos. Incluso en la Inglaterra victoriana, los ingenieros eran considerados socialmente inferiores a los científicos, y el trabajo, menos digno que la especulación científica (no era así en Estados Unidos, donde se admiraba al prolífico inventor Thomas Edison por declarar que «el genio consta de 1 por 100 de inspiración y un 99 por 100 de transpiración»).

Paradójicamente, lo que más tarde se denominó ciencia surgió de las artes liberales y mecánicas. Para entender el sentido moderno de «arte», piense en las palabras «artesano» y «artificial»; en el caso de «ciencia», piense en libros. Las asignaturas que ahora se consideran parte de las artes (escultura, pintura, arquitectura) eran en su origen habilidades manuales que practicaban las clases sociales bajas; las disciplinas científicas matemáticas, por otra parte, surgen de la enseñanza académica (en latín, *scientia*) pensada para las clases altas. Estos conocimientos no solo incluían teoremas geométricos y modelos cosmológicos derivados de las siete artes liberales, sino también música, un tema que, como la ciencia, puede interpretarse con instrumentos pero también analizarse desde un punto de vista teórico. La *scientia* abarcaba también la teología, de la que se suele afirmar actualmente que es opuesta a la ciencia. Los estudiosos medievales intentaban acercarse a Dios, no acumular

conocimientos por su propio mérito, y sostenían que la nueva filosofía natural no supondría contradicción alguna con sus estudios religiosos sino que, al contrario, les daría un impulso adicional. Como explicaba Roger Bacon, uno de los principales defensores de este punto de vista: «Una disciplina es la señora de las otras; me refiero a la teología, de la que las otras son necesidades integrales y que no puede alcanzar sus fines sin ellas»[14].

Roger Bacon era un erudito, experimentador y alquimista franciscano que desarrolló su obra en París y Oxford en la segunda mitad del siglo XIII. Se le conoce especialmente por sus trabajos en óptica, ya que representa un vínculo fundamental entre Alhacén, el célebre estudioso islámico, y Johannes Kepler, que investigó la luz más de trescientos años después de Bacon. Los puntos de vista de Bacon surgían de sus ideas religiosas acerca de la naturaleza de la luz. De una forma que tenía sentido en aquel tiempo, pero que ahora parece contraria a la intuición, Bacon consideraba que la luz era al mismo tiempo transcendente y física, divina y corpórea. Para los intelectuales del Medievo, el lugar de un objeto en el mundo dependía de cómo manifestase la presencia de Dios. La luz estaba en una posición más alta en la jerarquía espiritual que una piedra, pero la única forma de entenderlas a ambas era mediante la percepción de su esencia divina. En otras palabras, los vitrales de la catedral de Chartres mostraban escenas que ofrecían de forma explícita lecciones morales y bíblicas, pero también actuaban como ventanales translúcidos que dejaban pasar la luz sagrada para iluminar tanto el intelecto como el alma.

A diferencia de los eruditos monásticos anteriores, Bacon no solo estudió los textos antiguos, sino que también llevó a cabo sus propias investigaciones mediante experimentos. En lugar de aceptar las conclusiones de los griegos sin discusión, Bacon, como Alhacén, pensaba que la luz entra en el ojo procedente de los objetos. Además, sostenía que la luz radiante interactúa con los sólidos, cambiando a medida que se mueve y afectando también al medio a través del que viaja. Como si se hubiese inspirado en los vitrales de las catedrales, Bacon afirmaba que «cuando un rayo pasa por un medio de vidrio coloreado con un color intenso… aparece a nosotros en la oscuridad… un color similar al de ese cuerpo de color intenso»[15]. La perspectiva de Bacon no era científica, sino cristiana, de modo que visualizaba la luz como un agente que vinculaba los componentes del Universo en un todo divino. Aun así, su argumento de que los objetos pueden actuar unos sobre otros resultaba controvertido desde el punto de vista teológico, porque los más conservadores de los colegas de Bacon se negaban a admitir que el mundo pudiese funcionar sin la intervención continua de Dios.

Bacon influyó en la moderna ciencia de la óptica pero, desde su punto de vista, el estudio de la luz no era tanto una disciplina científica como una clave para entender el cosmos. Para él, el camino del hombre hacia la salvación empieza en el mundo visible y tangible de los sentidos, y asciende paso a paso, desde las idealizaciones y abstracciones de la matemática, a una apreciación metafísica de la unidad divina. Por ejemplo, la estructura geométrica de Chartres tendía a la armonía y belleza de la música, mientras que las materias del *quadrivium* alentaban a la mente para separarse del mundo tangible y ascender hacia un mundo celestial. En este recorrido jerárquico de lo físico a lo espiritual, la óptica geométrica hundía sus raíces en el mundo prosaico, pero actuaba también como intermediaria para la comunicación con el reino divino. La comprensión de la interacción de los rayos de luz con los espejos no era un fin en sí mismo, sino una de las etapas hacia la comprensión de Dios.

Galileo menospreciaba a sus predecesores, aun cuando el resurgimiento económico de Europa hubiese estimulado las reformas académicas que hicieron posible sus propias investigaciones. Asímismo, los científicos modernos desechan los conceptos teológicos de los eruditos medievales, tildándolos de irrelevantes para su trabajo. Aunque se suele considerar a Roger Bacon el primer verdadero científico de Inglaterra, en realidad él creía que la luz revela los aspectos divinos de la sagrada creación de Dios. Por ajeno que nos parezca su esquema intelectual, se debe reconocer la enorme influencia de este sobre los desarrollos científicos posteriores.

6 - Aristóteles

—No entiendo muy bien el griego —dijo el gigante.
—Ni yo tampoco —dijo la polilla filósofa.
—Y entonces —replicó el siriano— ¿por qué citáis a ese tal Aristóteles en griego?
—Porque —replicó el sabio— lo que no se entiende en absoluto hay que citarlo en la lengua que menos se entiende.

Voltaire, *Micromegas* (1752)

Aristóteles dominó el saber medieval y renacentista. Los números hablan por sí mismos: aún se conservan unos dos mil manuscritos en latín de la obra de Aristóteles, y se considera que otros muchos miles han desaparecido. Aproximadamente un tercio de ellos fueron traducidos del árabe, no del griego original; es inevitable que estos resultasen tergiversados, ya que a menudo intervenía alguna otra lengua intermedia; por no mencionar los errores de transcripción de los escribas. En las estadísticas de los libros escritos *sobre* Aristóteles destaca un autor árabe: Averroes, que desempeñó un papel esencial en la adopción de las ideas aristotélicas por parte de los intelectuales europeos. Se deben considerar asímismo las obras apócrifas que empezaron a circular en distintos idiomas poco después de la muerte de Aristóteles; aún se conservan centenares de estas recopilaciones, copiadas a mano una y otra vez, con errores introducidos en cada copia, atribuidas erróneamente a Aristóteles y con títulos tan atractivos como el *Secreto de secretos*.

Incluso durante la supuesta Era Oscura, algunos textos griegos se tradujeron al latín, pero el siglo XII vio un incremento espectacular de estas traducciones. En esa época, muchos viajeros (comerciantes, embajadores, cruzados) habían hablado a los estudiosos occidentales de los conocimientos y técnicas acumulados en distintas partes del imperio islámico. El contacto intercultural había sido siempre más rico en España, que contaba con una próspera comunidad cristiana, aun en el tiempo en que formaba parte del imperio islámico. Una vez que los gobernantes cristianos recuperaron el control a finales del siglo XI, los obispos locales auspiciaron traducciones de

los libros de las grandes bibliotecas árabes en España. Toledo se convirtió en un centro de especial importancia, que atraía a traductores de toda Europa deseosos de adquirir las técnicas islámicas y recuperar obras griegas que se habían perdido.

Se trataba de un ejercicio internacional de grandes dimensiones, pero sin coordinación alguna, que implicó a numerosas personas, algunas de las cuales tuvieron una influencia particularmente notable. Por ejemplo, Gerardo de Cremona era un erudito italiano que emigró a Toledo en 1144 con la intención de aprender árabe. Tradujo casi ochenta libros, y sus manuscritos (publicados más adelante en versión impresa) mantuvieron su importancia durante siglos; sin ir más lejos, la palabra «seno» en trigonometría es suya. Su traducción más significativa fue la del *Almagesto* de Ptolomeo. Fue la única versión latina disponible durante trescientos años, y en ella se presentaba a los astrónomos europeos un nivel de virtuosismo técnico desconocido para ellos.

A finales del siglo XII, los intelectuales de habla latina de Europa tenían ya acceso a una enorme variedad de textos griegos traducidos. La prioridad de estos traductores era la utilidad, y eligieron para su trabajo textos prácticos sobre astronomía y astrología, medicina, matemáticas y meteorología. Estos tratados técnicos no suponían una amenaza para la teología cristiana, y pronto se utilizaban en la enseñanza versiones simplificadas del *Almagesto* de Ptolomeo, junto con la óptica de Alhacén y la medicina de Avicena. Los textos teóricos llegaron posteriormente y provocaron mayores problemas. Aristóteles estuvo prohibido en París durante unos cincuenta años, porque sus ideas suponían un desafío a las doctrinas cristianas acerca de la existencia y la creación del mundo.

Ideologías que se habían originado en Atenas y Jerusalén chocaron en Europa occidental. Aristóteles —es decir, Aristóteles tal como lo presentaba el islámico Averroes— provocaba diversas objeciones. La más importante era que el Universo de Aristóteles es eterno, mientras que el cristiano tiene una dirección: la Biblia se inicia con un relato detallado de la creación del mundo por parte de Dios, mientras que el Día del Juicio Final se cierne amenazadoramente sobre el futuro. La intervención divina representaba otro problema: mientras que el cosmos aristotélico es autosuficiente y gobernado por leyes, el Dios cristiano manifiesta Su presencia mediante milagros y ha dotado a la humanidad de libre albedrío. Es más, para Aristóteles, la mente y el cuerpo formaban una unidad, lo que entraba en contradicción con las convicciones cristianas, que afirmaban que, tras la muerte, las almas existen de forma independiente y perdurable, bien en el cielo, bien en el infierno.

Estas incompatibilidades se solucionaron de forma gradual durante el siglo XIII. En aquel tiempo, los debates filosóficos debían parecer eternos, pero visto en retrospectiva hay tres nombres que destacan. Uno de ellos es el del franciscano británico Roger Bacon. Al declarar que «la teología es la reina de las ciencias», Bacon alentaba a los intelectuales universitarios a aceptar las ideas paganas y absorberlas dentro de las cristianas. Mientras que el ámbito de Bacon se circunscribía a la óptica y las matemáticas, su rival Alberto Magno se propuso analizar, explicar y complementar la obra de Aristóteles de forma exhaustiva. Alberto Magno era un dominico alemán que había estudiado teología en París. El apelativo Magno se debía a su dominio de todos los temas: no solo teología, astrología y lógica, sino también botánica, mineralogía y zoología (esto incluía sus propias observaciones acerca del apareamiento de las perdices).

El erudito que contribuyó en mayor medida a la aceptación de Aristóteles fue el pupilo de Alberto, Tomás de Aquino, un aristócrata italiano que se hizo fraile dominico a pesar de las protestas de su familia (que lo encerró en su casa durante un año) y al que se conocía en Europa como «Doctor Angelicus». A pesar de que sus contemporáneos del siglo XII lo consideraban un radical peligroso, Tomás de Aquino obtuvo posteriormente la santidad y se le sigue considerando uno de los más grandes teólogos de la historia del catolicismo. Tomás de Aquino, de excepcional tenacidad, estudió y enseñó en París y en otras universidades de Europa, actuando al mismo tiempo de consejero del papa y de uno de sus propios parientes, el rey de Francia. Esto no le impidió construir además una versión sintética de Aristóteles y el cristianismo (que se suele llamar tomismo, por su nombre) que dominó el pensamiento europeo durante trescientos años.

Tomás de Aquino sostenía que Dios había distinguido a las personas del resto de la creación dándoles la mente y los cinco sentidos; solo los seres humanos, escribió, gozan de la belleza por sí misma. Eso quería decir que la intención de Dios era que llegásemos a la verdad, no solo mediante el estudio de sus escritos —la revelación divina de las Sagradas Escrituras—, sino también mediante el estudio del mundo natural. Como Dios no podía permitir que las verdades de la fe y de la razón se contradijesen, los cristianos utilizaban dos libros para guiarles en su camino espiritual: la Biblia, dictada por Dios, y Aristóteles (o una versión arreglada de Aristóteles).

El Aristóteles medieval no era el Aristóteles griego. De hecho, ni siquiera había una única versión de aristotelismo medieval. Como señaló Alberto Magno en una de sus numerosas obras sobre Aristóteles, su héroe era humano

y, por tanto, falible; así, sus discípulos podían «exponer a este hombre en formas diversas, según convenga a la intención de cada cual»[16]. Lo mismo ocurre con todos los «ismos» famosos en ciencia: no existe una única versión autorizada del cartesianismo, newtonismo o darwinismo, porque los seguidores seleccionan y desarrollan únicamente aquellas partes que les interesan y con las que están de acuerdo.

El cosmos ofrece un buen ejemplo de adaptación. El propio Aristóteles había situado una esfera de estrellas fijas en el exterior de las siete esferas planetarias; más allá no había nada, ni siquiera vacío. Para los cristianos, se trataba de algo difícil de aceptar. ¿Y la narración bíblica de la creación, que no solo especifica un paraíso celestial, sino también un firmamento con agua por encima y por debajo de él? ¿Y qué sucedería si, estando de pie junto al mismo borde del cosmos, uno saca el brazo? Uno de los procedimientos habituales para resolver estos dilemas era introducir, no una, sino tres esferas más allá de los planetas, tal como se ilustra en la Figura 3. Tras los siete planetas se halla el firmamento estrellado y el cristalino paraíso de agua transparente, todo ello rodeado por el Primer Motor de Aristóteles, un papel que se asignó al Dios cristiano.

En el reino de lo terrenal, el movimiento era un asunto especialmente espinoso. Aunque los debates medievales sobre el movimiento parecen esotéricos, son importantes porque afectaron al posterior curso de la física. Dentro de un esquema aristotélico, los objetos permanecen inmóviles a menos que sean movidos activamente, lo que se opone a la visión newtoniana, según la cual los objetos siguen moviéndose hasta que son detenidos. Aristóteles distinguía dos tipos de movimiento: el natural y el forzado. El movimiento natural tiene lugar cuando un cuerpo es impulsado internamente hacia su lugar natural: la tierra y el agua caen, el fuego y el aire flotan. También se puede forzar un objeto para que se mueva de forma no natural: un buey tira del carro, un arquero dispara una flecha. Pero ¿qué sucede cuando la flecha sale del arco? Sin embargo, una vez que la causa del movimiento forzado —el arco— deja de actuar, ¿no debería entrar en acción el movimiento natural y hacer que la flecha se desplomase hacia el suelo? Para salvar esta objeción, Aristóteles explicaba que la acción de disparar transformaba el comportamiento del aire, que pasa a gran velocidad de la punta de la flecha a la cola y empuja desde atrás. Esta explicación planteaba varios problemas evidentes. Por ejemplo: si Aristóteles tenía razón, ¿cómo era posible disparar una flecha contra el viento?

Durante la primera mitad del siglo XIV, los intelectuales medievales se propusieron recuperar la idea aristotélica de movimiento. Como filósofos aristotélicos, no centraban su atención en lo cuantitativo, sino en lo cualitativo, y buscaban causas y explicaciones en lugar de tratar de deducir leyes y fórmulas. En París, el experto era Jean Buridan, al que ahora se conoce sobre todo por el infortunado burro lógico que se moría de hambre a medio camino entre dos balas de heno por ser incapaz de hallar una razón para elegir cuál se comería en primer lugar. Para rescatar a Aristóteles, Buridan sostenía que era la flecha, no el aire, la que resultaba alterada, e introdujo un nuevo concepto: el ímpetu, la calidad de impulsar cualquier objeto que lo contenga. El acto de disparar proporciona ímpetu a la flecha, que continúa sin caerse; asímismo, un imán proporciona ímpetu a un trozo de hierro, que se siente internamente impulsado a moverse hacia el imán. El concepto de ímpetu de Buridan describe de forma eficaz el fenómeno, lo que permitió que dominase la mecánica hasta que Galileo y Newton lo echaron por tierra.

Los contemporáneos de Buridan en Oxford abordaron el problema desde un punto de vista más matemático. A estos estudiosos, que trabajaban en Merton College, se les llamó «calculadores», porque utilizaban las matemáticas para describir las relaciones entre diversas cualidades. Por ejemplo, sugerían que, para duplicar la velocidad de una flecha, debía elevarse al cuadrado la proporción entre la fuerza que la impulsa y la resistencia que se opone a su avance. Para deducir sus ecuaciones, los calculadores de Merton utilizaban los recursos mentales del análisis lógico, y se apoyaban únicamente en experimentos imaginarios. Se consideraban filósofos, no artesanos que trabajan con instrumentos; de todos modos, los relojes aún eran demasiado imprecisos para poder utilizarlos para cronometrar el movimiento. Sin embargo, el hecho de que sus fórmulas pudiesen, en principio, comprobarse ejerció una gran influencia en los experimentos reales que Galileo efectuó trescientos años más tarde.

Para los eruditos medievales, los instrumentos como los relojes no eran máquinas utilizadas para medir el cosmos aristotélico, sino modelos de este, ingenios ideados para anunciar la magnificencia de Dios mediante la miniaturización del Universo, esa gran máquina interconectada. En toda Europa, los artesanos construían relojes cada vez más complejos y costosos, que no solo incorporaban campanas para llamar a las personas a oración, sino también intrincados engranajes para mostrar la magnificencia del universo de Dios, como las fases y los eclipses de la luna, las mareas y los movimientos

planetarios. Las grandes ciudades como Estrasburgo y Praga adquirieron espléndidos mecanismos astronómicos para adornar sus catedrales, exhibiendo así su riqueza y también incrementándola al atraer a nuevos peregrinos (una función que ahora cumplen los turoperadores). Con la mejora de la tecnología, el tamaño de los relojes se redujo, pero siguieron siendo símbolos de estatus de alto precio, más próximos a ornamentos elaborados que a mecanismos precisos de medición del tiempo.

Estos relojes astronómicos representaban la materialización de la fusión entre Aristóteles y el cristianismo. Al indicar la hora, imponían sobre la población un horario monástico regular. Pero además, y de forma no menos significativa, estos modelos mecánicos del cosmos ponían de manifiesto de forma clara que la vida en la Tierra se ve afectada por el funcionamiento ordenado de los cielos. Las personas estaban convencidas de que los movimientos de las estrellas y los planetas afectaban a sus personalidades, su salud y sus oportunidades, y el vocabulario astrológico que utilizaban aún permanece: los lunáticos notaban el influjo de la luna, los desastres (del latín *astra*, estrella) descendían del cielo y las personas joviales eran regidas por Júpiter.

Para los cristianos aristotélicos, las estrellas eran los intermediarios de Dios en el gobierno del Universo. Sin embargo, los teólogos tradicionales planteaban diversas objeciones: si los acontecimientos estaban preordenados, esto minaba el concepto cristiano de libre albedrío individual. Aunque aceptaban que las estrellas podían afectar a los cuerpos físicos de las personas, sostenían que el alma y la mente debían poder actuar de forma independiente. Tomás de Aquino resolvió este conflicto con notable astucia, al razonar que los hombres sabios (y se refería a los hombres explícitamente) podían sobreponerse a sus inclinaciones naturales mediante el ejercicio del autocontrol. Los cuerpos celestes podían afectar a la salud física mediante la alteración del equilibrio de los humores, pero un cristiano racional jamás dejaría que las estrellas determinasen por completo su estado emocional —a diferencia de lo que les pasaba a las mujeres y a los peones, su autodisciplina le permitía eludir el destino mediante el control de sus propias pasiones—.

La astrología se hizo compatible con el cristianismo al dividirse en dos ramas. Los miembros de uno de los grupos eran ridiculizados como charlatanes: aquellos que elaboraban horóscopos personales para pronosticar acontecimientos específicos en la vida de un individuo. Por otro lado, los que practicaban la astrología natural efectuaban pronósticos más generales, y se les consideraba respetados miembros de la élite intelectual. Estos expertos

matemáticos se apoyaban en los mejores trabajos astronómicos disponibles, como la traducción latina del Almagesto de Ptolomeo efectuada por Gerardo de Cremona, y en tablas de trayectorias de cuerpos celestes de gran exactitud recopiladas en Toledo.

Los médicos medievales y renacentistas solían estudiar medicina astrológica. En la Figura 10[f10], tomada de un manual de cirugía del siglo XV, se muestra el Hombre del zodíaco, que personificaba la correspondencia macrocosmos-microcosmos de Aristóteles entre el cuerpo humano y el firmamento. Cada parte de su cuerpo está asociada con un signo estelar distinto heredado de los babilonios: Aries el carnero subido sobre su cabeza, el pez de Piscis nadando entre sus pies y Taurus el toro agazapado tras sus hombros. El Hombre del zodíaco era tan conocido que, cuando Shakespeare escribió *Noche de Reyes*, sabía que a su público le iba a encantar la discusión entre dos personajes cómicos que asignaban Taurus a partes equivocadas del cuerpo[17]. Los planetas, asímismo, estaban asociados a humores específicos, —Marte era colérico, Saturno, melancólico…, y podían influir en la salud de las personas haciendo que ese humor avanzase o retrocediese en sus cuerpos, como una marea—. Un tratamiento satisfactorio no solo debía restablecer el equilibrio de los humores, sino también intervenir en el momento correcto, con los planetas en posiciones auspiciosas.

La astrología aristotélica cristianizada fue una ciencia de peso en la época medieval. Cuando la peste negra empezó a asolar Europa en 1347, los médicos de la Universidad de París ofrecieron una racional y aristotélica explicación, concluyendo que el origen de la epidemia se hallaba en una singular conjunción de planetas ocurrida cuatro años antes. El cálido y húmedo Júpiter había atraído vapores maléficos, que el seco, sobrecalentado y maligno Marte había inflamado y que se habían visto también afectados por el melancólico Saturno. Estos conflictos planetarios habían generado vientos cálidos y húmedos del sur, que corrompieron la atmósfera e indujeron una enfermedad congruente en los seres humanos. Desde un punto de vista teológico, Dios había manifestado su descontento a través de poderes astrológicos naturales. Los matemáticos pusieron manos a la obra y calcularon que la siguiente conjunción planetaria importante debía llegar el año 1365. En Oxford, un experto predijo erróneamente que el Dios cristiano elegiría esa fecha para destruir a los infieles sarracenos; es de suponer que el experto no se daba cuenta de hasta qué punto debía la mayor parte de sus conocimientos aristotélicos a los intérpretes islámicos.

Sin embargo, esta devastadora plaga estimuló investigaciones muy fructíferas. Al acabar con un tercio de la población de Europa en cinco años, tuvo como efecto inmediato que los esfuerzos de los intelectuales se centraran en la muerte y en la salvación en lugar de en el mundo actual. Pero, posteriormente, tuvo lugar un tremendo auge de la economía. Las familias ricas se hicieron más ricas al heredar las propiedades de sus parientes muertos, mientras que los trabajadores que habían sobrevivido se hallaron en una posición de fuerza para negociar mejores emolumentos. El comercio y los viajes florecieron para cubrir la demanda de artículos de lujo, lo que se tradujo en mejoras en los instrumentos y mapas de navegación, así como en exploraciones más osadas. Los orígenes de la efervescencia intelectual del Renacimiento fueron materiales.

7 - Alquimia

> Este bastón y las serpientes masculina y femenina unidas en la proporción de 3, 1, 2, componen el Cerbero de tres cabezas que guarda las puertas del Infierno. Al fermentar y digerirse juntos producen a diario más fluido… y adquieren un color verde, y al cabo de 40 días se convierten en un polvo negro podrido. La materia verde puede utilizarse como fermento. Su espíritu es la sangre del León verde. El polvo negro es nuestro Plutón, el Dios de la fortuna.
>
> Isaac Newton, *Praxis* (c. 1693)

Casi todos los científicos opinan que la alquimia es una estupidez; sin embargo, en 1936, el físico nuclear Ernest Rutherford dio una charla en la Universidad de Cambridge en la que se describió a sí mismo como un alquimista moderno. En lugar de transmutar plomo en oro, presumía Rutherford, había transformado nitrógeno en oxígeno bombardeándolo con partículas alfa. En su escudo de armas aparecía el mítico padre fundador de la alquimia, Hermes Trismegisto («Hermes tres veces poderoso»), una amalgama de diversos sabios del Egipto de la Antigüedad cuyo nombre aún se conserva en la frase «herméticamente cerrado». Puede que Rutherford simplemente quisiera permitirse un capricho científico, pero también trataba de decir algo serio. Algunas de las ambiciones de los alquimistas parecen actualmente ridiculas —hallar la piedra filosofal o el elixir de la vida, por ejemplo—, pero sus técnicas, instrumentos y prácticas forman el núcleo de la ciencia experimental.

La historia de la alquimia es prolongada e internacional. Newton y otros aficionados del siglo XVII basaron sus investigaciones en una tradición hermética que se remontaba a la antigua Babilonia, se había desarrollado en Egipto y Grecia, así como en China y la India, y había llegado a Europa procedente del imperio islámico en el siglo XII. Siendo una disciplina importada de Oriente, el vocabulario especializado de la alquimia se originaba en la transliteración de palabras árabes, algunas de las cuales entraron en el lenguaje ordinario, como la propia «alquimia», «elixir» o «matraz». Los primeros traductores al latín no estaban familiarizados con la alquimia, pero se tropezaron con ella en libros que se han hecho famosos como parte de la

herencia científica europea. Cuando Gerardo de Cremona empezó a trabajar en el *Almagesto* de Ptolomeo descubrió que no solo trataba de astronomía, sino que era mucho más rico en contenido de lo que él pensaba. La información alquímica hacía su aparición en la obra de otros influyentes escritores, incluidos el propio Aristóteles y célebres eruditos islámicos como Rhazes y Avicena. El inmensamente popular, aunque apócrifo, *Secreto de secretos* de Aristóteles, estaba también repleto de sabiduría médica, alquímica y mágica.

Los alquimistas se parecían a los científicos en el hecho de que no solo pretendían comprender el mundo, sino también cambiarlo. A diferencia de los estudiosos medievales, intentaban transformar su entorno mediante la invención de nuevas técnicas y la manipulación de fenómenos ya existentes. Aunque la intención de los alquimistas era ayudar a las personas, también necesitaban dinero, y protegían sus descubrimientos mediante el uso de signos y simbología arcana. La esencia de la alquimia implica comprender los cambios, que puede tomar numerosas formas: el hierro se convierte en orín, las semillas crecen y se hacen árboles, el agua se congela, la Luna cambia de configuración, el alcohol se evapora pero también tonifica y los criminales se reforman. Los alquimistas medievales, influenciados en gran medida por Aristóteles, creían en un Universo interconectado de elementos, cualidades e influencias de los astros. Fervorosos creyentes, luchaban constantemente por alcanzar la perfección en su búsqueda de Dios. Su principal meta consistía en hallar la piedra filosofal. Una vez identificada, se convertiría en la clave universal para la mejora: un procedimiento seguro para obtener oro mediante la limpieza de las imperfecciones de los metales básicos, una forma de prolongar la vida liberando al cuerpo humano de la enfermedad y un camino para lograr la iluminación divina tras la purificación del alma.

En la Figura 11**[f11]** se reflejan algunas de las características fundamentales de la alquimia. Aunque la dibujó una persona real (Heinrich Khunrath, un médico alemán que enseñaba que Dios había revelado las técnicas alquímicas con el propósito de curar enfermedades), este majestuoso salón y sus proporciones matemáticas no es una representación realista, sino más bien un retrato simbólico de los objetivos alquímicos. En el centro se muestra una mesa repleta de instrumentos musicales, que recuerdan la armonía cósmica y los lazos pitagóricos entre la música, la astronomía, la geometría y la aritmética, el *quadrivium* del programa educativo medieval. Los espacios a ambos lados de la mesa se corresponden con los dos principales aspectos de la alquimia. A la derecha, el signo en la pared indica

que estamos en un *laboratorium*, un lugar de trabajo. Los instrumentos ordenados en el suelo y en los estantes se utilizan en experimentos prácticos para la extracción de poderes y la separación de elixires puros de la materia prima bruta de animales, plantas y minerales. Aparte de intentar lograr estos objetivos de mejora material, los alquimistas también aspiraban a un crecimiento espiritual. En el lado izquierdo se encuentra el *oratorium*, el lugar para rezar, en el que un pecador intenta perfeccionar su alma para acercarse más a Dios.

La alquimia puede parecer absurda en nuestros días, pero se entendió rápidamente en la Europa medieval porque parecía ser un sistema racional coherente. Para muchas personas de aquella época, la alquimia se adaptaba perfectamente a su visión de un Universo armónico católico gobernado por los principios aristotélicos. Después de todo, si el pan y el vino podían sufrir una transubstanciación y convertirse en el cuerpo y la sangre de Cristo, y si las vetas subterráneas de sucio mineral podían transformarse en brillantes metales, ¿por qué no había de ser posible curar una enfermedad mortal o convertir el plomo en oro? Los procesos de transformación eran consustanciales al aristotelismo, la ortodoxia académica prevalente, que describía tanto el comportamiento humano como las reacciones químicas mediante la recombinación de cuatro elementos (tierra, agua, aire y fuego) y cuatro cualidades (caliente, seco, húmedo, frío). Los detalles eran imprecisos, lo que dejaba gran margen de movimientos para variaciones sin desviarse de las creencias dominantes.

La más famosa de las metas de los alquimistas, la transmutación del plomo en oro, tenía una base teórica sólida. Como muchos estudiosos de Aristóteles, los alquimistas creían que los metales estaban compuestos de azufre, caliente y seco, y de mercurio, frío y húmedo (principios idealizados, no los verdaderos azufre y mercurio). En el vientre de la Tierra, estos elementos se calientan juntos en diversas condiciones y, al cabo de muchos años, maduran en forma de distintos metales. Para acelerar este proceso natural, los alquimistas trataban de forma obsesiva de hallar técnicas químicas que permitiesen abreviar siglos de transformaciones graduales y producir oro directamente.

Los alquimistas influyeron sobre el curso de la ciencia en diversos aspectos. El más obvio fue la proyección de sus investigaciones sobre el desarrollo futuro de la química experimental y de la tecnología industrial. A lo largo de los siglos, los alquimistas habían desarrollado y probado con obstinación aparatos para calentar, destilar y cristalizar diferentes sustancias,

y esta tradición de innovación y refinamiento prosiguió durante mucho tiempo después de que la alquimia llegase a Europa. Por ejemplo, los practicantes de las artes herméticas inventaron alambiques para destilar líquidos (como alcohol, en un grado de pureza jamás logrado hasta ese momento), perfeccionaron diversos tipos de horno —que entraron en el mundo de la química como baños de arena y baños de agua— y, como se ilustra en la Figura 11, diseñaron una amplia variedad de recipientes y frascos para usos especiales, muchos de los cuales eran de uso cotidiano para los químicos del siglo XIX. Aunque el oro seguía siendo escurridizo, los alquimistas aislaron numerosas sustancias, entre ellas eficaces drogas de uso médico y el sulfato amónico, un ingrediente básico en la industria actual de fertilizantes químicos.

Los investigadores herméticos también afectaron a la ciencia futura al convencer a otras personas —profesores universitarios, mecenas, clientes— de que sus experimentos podían producir resultados de valor. Aunque muchos alquimistas eran verdaderos eruditos, en general solían trabajar fuera de las universidades y ganarse la vida ofreciendo tratamientos médicos o desarrollando procesos químicos con aplicaciones prácticas. Los manuscritos alquímicos de recetas secretas intrigaban a los académicos por lo distintos que eran a sus propios tratados teóricos. Aunque los médicos universitarios siguieron enseñando y publicando las técnicas tradicionales; algunos de ellos empezaron a prescribir drogas y terapias recogidas en libros que circulaban de forma clandestina.

Uno de los académicos que defendió más abiertamente la alquimia fue Roger Bacon, al que se suele considerar precursor de la moderna ciencia experimental. Y en cierto modo lo fue; pero su énfasis en la investigación práctica venía de la alquimia, cuya utilidad, desde su punto de vista, le concedía un gran valor. ¿Cómo, si no, podían albergarse esperanzas de prolongar la vida y de curar las enfermedades del cuerpo y del alma? ¿Qué mejor uso para las matemáticas que hallar las proporciones medicinales correctas? Bacon hizo una importante inversión en libros y material alquímico, y ayudó a que los investigadores aceptaran el manejo de objetos, no solo de ideas, como algo respetable. Pero tuvo que enfrentarse a sus contemporáneos académicos, que no miraban con buenos ojos la transformación artificial del mundo natural; su punto de vista era, más bien, el de «la Naturaleza es sabia».

Este conflicto entre los defensores de la naturaleza y los del arte («arte» como en las palabras «artífice» o «artificial») se prolongó durante siglos.

Supuso la esencia de los debates sobre el método científico y la conveniencia de utilizar inventos humanos para mejorar el mundo creado por Dios. Con la aprobación de la experimentación alquímica, Bacon se situó con firmeza en el terreno de los partidarios del arte (o artificio). En unas provocativas declaraciones afirmaba: «Algunos preguntan cuál de estas dos, Naturaleza o Arte, es de más fuerza y eficacia, a lo que yo doy respuesta y digo que, aunque la Naturaleza nos asombra con sus portentos y maravillas, el Arte, que utiliza la Naturaleza como instrumento, es más poderosa que la virtud natural»[18]. En lugar de restringirse a la demostración del funcionamiento de la Naturaleza, la intención de los alquimistas era mejorarla mediante la intervención humana. Este doble objetivo de comprender y alterar está en el centro de las aspiraciones científicas.

Sin embargo, las diferencias entre Bacon y los científicos modernos eran profundas. Como erudito medieval, a Bacon se le pagaba por pensar y escribir, no por llevar a cabo experimentos; carecía de subvenciones para la adquisición de equipos, y se quejaba de que su investigación llegó a un punto muerto en el momento en que se agotó su dinero. En lugar de seguir un plan de investigación sistemático, Bacon utilizaba sus aparatos para confirmar —no para examinar sus ideas teóricas, cuyo origen eran sus propias ideas preconcebidas en filosofía y teología—. Su proceso mental era descendente, de lo divino a lo mundano, de lo abstracto a lo concreto, un punto de vista muy distinto del ideal científico de trabajar hacia arriba, de deducir leyes generales a partir de situaciones particulares. Bacon, como sus contemporáneos académicos, buscaba a Dios, no la verdad objetiva. A diferencia del árido razonamiento lógico fomentado por los aristotélicos académicos, la alquimia volvía a traer los milagros al mundo y afirmaba que la intervención de Dios aún era posible. En las estrictas universidades medievales, la alquimia resultaba atractiva por su oposición a la autoridad, porque permitía que los estudiantes confiaran en su propia fe y no en el dogma teológico.

Bacon compartía con los alquimistas otra característica ajena (supuestamente) a la ciencia moderna: el secretismo. Según la visión ideológica de la ciencia, los científicos se comunican los conocimientos libremente entre sí. A pesar de los numerosos y llamativos contraejemplos (como el proyecto de la bomba atómica en Los Álamos, la reluctancia de Charles Darwin a publicar su teoría de la selección natural y las patentes que protegen los descubrimientos en ingeniería genética), el *ethos* predominante dicta que el progreso científico se apoya en la transparencia y en la

disposición a recibir críticas y a cooperar. De forma similar a la protección de derechos de los actuales inventores, los alquimistas detestaban que sus competidores tuviesen acceso a sus recetas, y rehusaban compartirlas más allá de restringidos círculos de devotos.

Para ocultar sus descubrimientos, los herméticos desarrollaban misteriosos y arcanos códigos simbólicos. Algunos guardaban un cierto parecido con las abreviaturas químicas y eran fáciles de descifrar; por ejemplo, una media luna representaba la plata, el metal de la Luna. Otros, en cambio, eran deliberadamente crípticos y siguen estando ocultos: los iniciados pueden interpretar las imágenes del sol devorado por un dragón verde como una instrucción para disolver oro en agua regia, una potente mezcla de ácidos de color azul verdoso. No obstante, igual que los científicos que aspiran a obtener fondos para la investigación, los alquimistas debían divulgar algunos de sus resultados para convencer a sus posibles patrocinadores de sus habilidades; e, igual que aquellos, probablemente adaptaban a veces sus datos para que se ajustasen a sus argumentos (la afirmación de que los científicos manipulan sus lecturas puede parecer sorprendente, pero existen numerosos y sorprendentes ejemplos de ello, como el caso del astrónomo británico Arthur Eddington, que afirmaba haber confirmado la teoría de la relatividad general de Einstein, o el del físico norteamericano Robert Millikan y la medida de la carga del electrón).

Existía un intenso tráfico de manuscritos no oficiales que prometían revelar antiguos secretos y que eran adquiridos, no solo por entregados alquimistas, sino también por monjes y estudiosos de las universidades como el propio Bacon. A los lectores medievales les fascinaban estos relatos sobre experimentación, cuyo origen solía ser islámico y que se atribuían falsamente a celebridades como Aristóteles o Alberto Magno, y que contenían remedios a base de hierbas y consejos prácticos (las amatistas protegen contra la embriaguez, los intestinos de liebre favorecen el nacimiento de herederos varones), todos ellos supuestamente comprobados pero con una justificación teórica casi inexistente. Las repetidas prohibiciones no lograron aplastar el entusiasmo en los monasterios; determinado manual, por ejemplo, clasificaba las técnicas sexuales con el objetivo de ayudar al monje a calcular la penitencia que debía dispensar en el confesionario. Sin embargo, a pesar de su erotismo y su esoterismo, estas recopilaciones manuscritas acentuaron la importancia de ofrecer explicaciones naturales, incluso para los fenómenos que parecían milagrosos o mágicos. Y, a diferencia de los dogmáticos textos

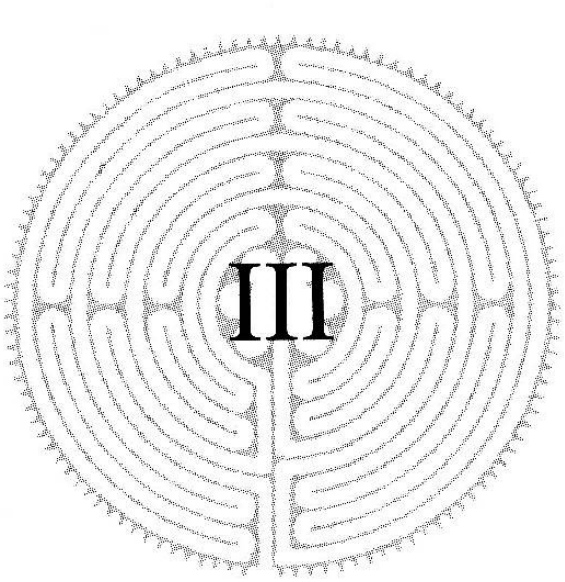
universitarios, no se limitaban a afirmar repetidamente teorías poco realistas, sino que exploraban el mundo.

El comportamiento reservado de los alquimistas era, de hecho, paralelo al de otros grupos especializados, incluido el de los estudiosos de las universidades. Antes de la invención de la imprenta, la circulación de los libros se efectuaba mediante copias manuscritas, que solo estaban al alcance de hombres ilustrados que hablaran latín y que dispusieran de los fondos suficientes para adquirirlos. Los frailes académicos como Bacon trabajaban en monasterios y universidades, comunidades cerradas y jerárquicas cuyos habitantes recombinaban una y otra vez la sabiduría antigua de las Sagradas Escrituras y de los filósofos griegos. Las similitudes entre la iniciación en una orden religiosa, la concesión de un puesto de investigación en la universidad y la admisión en una camarilla de arcanos alquimistas eran notables. En el mundo estratificado de Bacon, los investigadores académicos estaban muy por encima de los trabajadores manuales, a los que él mismo comparaba con cabras. Bacon prevenía contra la revelación de conocimientos superiores a las personas externas a los círculos privilegiados —¿por qué dar lechuga a las cabras, si son felices con cardos?—; su argumento era que solo se podía depositar en un selecto grupo de elegidos la confianza de que no iban a sacar provecho de los posibles peligros.

Los laboratorios científicos modernos tienen mucho en común con los talleres de trabajo de los alquimistas (cuyo diseño básico se transmitió a los primeros laboratorios de química). Se trata en ambos casos de lugares privados. El *laboratorium* de la Figura 11 se halla dentro del salón, similar a un templo, del alquimista, y está aún más oculto mediante cortinas. Así mismo, en los siglos subsiguientes, la investigación científica siguió efectuándose en los domicilios privados de las personas, con frecuencia en oscuras y frías bodegas. El propio científico de la época victoriana Michael Faraday llevaba a cabo sus experimentos en el sótano de la Royal Institution, apartado del ojo público. Los científicos modernos se comunican en arcanos lenguajes incomprensibles para los no iniciados, protegen sus valiosos equipos y vigilan cuidadosamente el acceso para excluir a los intrusos (las mujeres tenían prohibido el acceso al laboratorio de física de Princeton hasta la década de 1950).

Paradójicamente, se dice que las verdades universales se originan en lugares particulares e individuos específicos. Los profetas adquieren su sabiduría para iluminar al mundo meditando en soledad en la naturaleza. En estudios privados —o bajo un manzano—, privilegiados expertos formulan

las leyes científicas que gobiernan todo el cosmos. Asímismo, los solitarios alquimistas se encerraban en busca de la piedra filosofal y sus ubicuos poderes de purificación del espíritu y de la materia. Creían que un estudioso hermético que pudiese liberarse de las ambiciones mundanas y reconquistar su naturaleza incorrupta se convertiría en un *magus*, un mago con un profundo conocimiento de la naturaleza. A diferencia de los hechiceros y las brujas que practicaban magia negra mediante la invocación de espíritus sobrenaturales, los *magi* (magos altruistas) manipulaban los poderes de la naturaleza. Con una inspiración frecuentemente matemática, podían mediar entre las influencias celestiales de arriba y la existencia terrestre de abajo manipulando la dirección de las fuerzas cósmicas. El *magus* supremo era Isaac Newton, que se halla, como la divinidad de varios rostros, Jano, entre el mundo aristotélico y alquímico de las influencias armónicas y el mundo moderno de la ciencia matemática y de laboratorio. Puede que los científicos aborrezcan la alquimia, pero está más próxima a ellos de lo que piensan.



Experimentos

Durante el Renacimiento en Europa, la investigación intelectual fue exacerbada por la exploración internacional. El comercio estimuló el intercambio de habilidades, conocimientos y especímenes biológicos, que circulaban entre distintas sociedades y cambiaban a medida que viajaban. Los filósofos naturales adaptaron sus viejos instrumentos e introdujeron otros nuevos, aunque la estrategia experimental que caracteriza a la ciencia moderna se desarrolló de forma gradual e intermitente. Galileo alentó a los académicos a que mirasen la naturaleza como un libro escrito por Dios en el lenguaje de las matemáticas, pero el otro libro de Dios —la Biblia— siguió siendo una de las principales fuentes de conocimiento. Muchas innovaciones surgieron de la reformulación de las prácticas tradicionales, no de visionarias inspiraciones, de modo que las ideas antiguas coexistían con otras que ahora forman parte de la ciencia moderna. Por ejemplo, los principios aristotélicos prevalecieron hasta mucho después de que Copérnico situase el Sol en el centro del cosmos; de forma recíproca, los magos, que trabajaban sobre la base de experimentos alquímicos y poderes espirituales, convirtieron las matemáticas en la llave del Universo. Quizá el más grande de todos los *magi* fuese Isaac Newton, el filósofo natural y alquimista religioso que prefirió escribir en el lenguaje griego de la geometría en lugar de emplear las técnicas matemáticas más recientes. Los *Principia* de Newton, publicados en 1687,

gozan en la actualidad del estatus de obra sagrada de la ciencia, pero están tan arraigados en el pasado como mirando hacia el futuro.

1 - Exploración

No abandonaremos la exploración y cuando lleguemos al final de ella será para arribar al lugar de partida y conocerlo por vez primera.

T. S. Eliot, *Cuatro cuartetos* (1942)

«Una imagen vale más que mil palabras»; cuando se inventó este eslogan publicitario en 1927, los libros eran baratos, la alfabetización se había generalizado y los científicos se jactaban del intercambio libre de información entre ellos. Cuatro siglos antes, cuando Hans Holbein pintó *Los embajadores* (Figura 12**[f12]**), un complejo comentario visual sobre la comunicación, el libro impreso era recién nacido, solo los ricos sabían leer y la información sobre nuevos lugares, productos y procesos se ocultaba celosamente. *Los embajadores*, actualmente uno de los cuadros más famosos de Europa, ofrece el único registro oficial del encuentro de sus dos protagonistas (dos diplomáticos franceses) en Londres. Mediante el uso de objetos en lugar de palabras, Holbein mostró la relación íntima entre los viajes, el dinero y el conocimiento.

En la representación de este encuentro clandestino, Holbein reflexionaba sobre las distintas formas de obtener y transmitir conocimiento durante el Renacimiento. A los soportes tradicionales (la conversación, el correo, los manuscritos copiados) se les unía el libro impreso, a pesar de que este podía propagar tanto la verdad como el error. Cuarenta años antes Cristóbal Colón había cruzado el Atlántico, y personas de los dos extremos del mundo empezaban a intercambiar plantas, animales, materias primas y productos manufacturados. En la pintura de Holbein se ilustra la aparición de las ciencias experimentales a partir del comercio y la política, no del deseo desinteresado de conocimiento.

La exploración durante el Renacimiento aumentó de forma colosal la cantidad de información científica disponible, pero este no era el objetivo principal, sino más bien un efecto secundario. El interés de los viajeros de distintos países no era el desarrollo intelectual, sino el beneficio financiero y

el poder territorial. Estos viajeros trajeron plantas y animales singulares para usos medicinales y agrícolas o como regalos: su clasificación vino posteriormente. Así mismo, la finalidad de los constructores de instrumentos era ganarse la vida, no descifrar los secretos de la naturaleza, y los equipos que ahora se considerarían «científicos» fueron originalmente diseñados para usos prácticos: medir fronteras, pesar metales, dispensar drogas o producir tintes. Los navegantes exigían detalles precisos de los movimientos de las estrellas, lecturas de brújula exactas y modelos de los vientos, no para acabar con los obsoletos atlas de Ptolomeo, sino para llegar a su destino de forma segura. Los conocimientos acerca del mundo tenían implicaciones políticas y comerciales de peso; se trataba de productos valiosos que se podían comprar, vender e intercambiar, no solo entre comerciantes, sino también entre embajadores.

En este cuadro repleto de simbología oculta, Holbein siguió la división aristotélica del universo: el estante superior es celestial, mientras que el inferior es terrenal. Los libros y los instrumentos estaban en aquella época más relacionados entre sí que ahora, de modo que los agrupó como fuentes complementarias de conocimiento. En la parte superior se hallan los instrumentos matemáticos, perfectamente identificables y cuidadosamente representados, que los navegantes utilizaban para registrar las posiciones de las estrellas, medir el tiempo y crear mapas más precisos. El estante inferior contiene un manual de aritmética comercial y un globo terráqueo con información diplomática sensible que agregó el propio Holbein. La exploración internacional era una cuestión de beneficios económicos y posesión.

Y sin embargo, en los instrumentos de Holbein se representa también la incomunicación. El laúd —emblema de armonía, tanto humana como cosmológica— tiene una cuerda rota, y los instrumentos astronómicos, desalineados de forma deliberada, crean sombras contradictorias. A ambos lados de estos aparatos se hallan dos hombres enviados como instrumentos del estado Francés para acceder a cotilleos internos, pero están en silencio, y sus semblantes inexpresivos no revelan nada acerca de las intrigas de la corte. Asímismo, la precisión de las esferas de los relojes de sol y de los astrolabios y la elaborada encuadernación de cuero de los libros no ofrecen garantía alguna de exactitud. La fiabilidad de las palabras impresas y de los objetos complicados es tan escasa como la de los seres humanos. Del mismo modo que las lentes generan imágenes distorsionadas, la imprenta facilitaba la

expansión de las mentiras, e —igual que los cortesanos que disimulan— las imágenes pueden llevar a engaño.

La imprenta desempeñó un papel crucial en el desarrollo de la ciencia, aunque la transición a esta nueva tecnología no fue inmediata. Mucho después de la introducción de los tipos móviles en la década de 1450, los escribas seguían copiando manuscritos y las ilustraciones seguían siendo dibujadas y coloreadas a mano. Los comerciantes se dieron cuenta de que los clientes ricos que compraban las obras filosóficas de Aristóteles o las historias naturales de Plinio no estaban tan interesados en su mejora intelectual como en la decoración de sus casas con símbolos de estatus artísticos, y les vendían ediciones limitadas de libros impresos muy caros, pero muy bellos. El mercado de libros no se estableció con firmeza hasta el siglo XVI, cuando los editores habían logrado convencer a los lectores de que los libros impresos eran asequibles e idénticos; bueno, aproximadamente.

Un factor clave para la creación y expansión del conocimiento era la ubicación. En *Los embajadores*, Holbein destacaba con claridad que el origen de su mapa político era Nuremberg, célebre por su riqueza y su cultura y centro europeo de creación de libros, láminas e instrumentos durante el siglo XVI. El artista Albrecht Dürer (Alberto Durero) utilizó Nuremberg como base de operaciones comercial para el envío de sus imágenes de plantas y animales. Aunque se burlaba de sí mismo al representar a personas llenando hornos con ellas a paladas para venderlas en grandes volúmenes como si se tratase de barras de pan, las láminas baratas ejercieron un efecto espectacular en la circulación de información científica. Aunque la famosa imagen de un rinoceronte con armadura de Durero puede parecemos ahora ridícula en un sentido encantador, se extendió por todas partes y se reprodujo numerosas veces, convirtiéndose en la realidad del rinoceronte para muchas personas que, como él mismo, nunca habían visto un espécimen real.

La supremacía científica de Nuremberg se debe sobre todo a un hombre: el astrónomo Regiomontanus (Johannes Müller). Regiomontanus se trasladó a Nuremberg en 1471, eligiendo de forma deliberada un lugar en el que no solo se producían instrumentos astronómicos de calidad, sino que era famoso por «la facilidad para toda clase de comunicaciones con personas ilustradas que vivieran en cualquier lugar, pues esta ciudad se veía como el centro de Europa a causa de los viajes de los comerciantes»[19]. Esta posición comercial de primer orden contribuyó a convencer a un hombre de negocios local para que invirtiese en la nueva imprenta de Regiomontanus, que ayudó a hacer de Nuremberg un punto de intercambio comercial desde el que transmitir

información al mundo entero mediante libros, instrumentos e imágenes de gran calidad.

El desarrollo de la cultura no solo dependía de autores innovadores, sino también de editores emprendedores y concienciados. La fama de Regiomontanus es muy inferior a la de otro astrónomo centroeuropeo, Nicolás Copérnico, el clérigo erudito que situó el Sol, en lugar de la Tierra, en el centro del Universo. Y sin embargo, el célebre libro de Copérnico se imprimió en Nuremberg, y su fama se debió a las redes de edición establecidas por Regiomontanus y sus contemporáneos. De no ser por sus iniciativas, el impacto de los revolucionarios descubrimientos del siglo XVI habría sido muy inferior.

Las investigaciones del propio Regiomontanus fueron cruciales para el futuro de la ciencia, porque sus obras, de gran claridad y precisión, tuvieron un uso generalizado. Sus ideas llegaron a Copérnico cuando este era estudiante en Bolonia, y también viajaron al Nuevo Mundo con Cristóbal Colón, que buscaba la ruta de las especias hacia las Indias Orientales. Aunque Colón sostenía obstinadamente que había alcanzado su destino original, su viaje comercial a través del Atlántico modificó de forma drástica la visión europea del mundo y tuvo como consecuencia una colosal explosión de información.

Regiomontanus inició los cambios en astronomía enfrentándose a Ptolomeo, que seguía siendo la principal autoridad Aunque por entonces su obra ya contaba más de mil años. Regiomontanus no solo ofreció una mejor traducción del *Almagesto* de Ptolomeo, sino que criticó sus ideas, produjo nuevas mediciones astronómicas y modificó de forma influyente y significativa los puntos de vista de la época al insistir en que las teorías debían ajustarse a las observaciones. Para ello, Regiomontanus efectuó una meticulosa comprobación de sus pruebas. Las tablas manuscritas de mediciones antiguas estaban plagadas de errores, debidos en muchos casos a repetidas copias defectuosas, y en otros a datos de baja calidad o inventados, el equivalente numérico del rinoceronte de Durero. Regiomontanus hizo posible la reforma de las teorías al proporcionar mediciones astronómicas libres de error.

Con su contribución a la expansión de las redes de comercio internacionales, Regiomontanus facilitó la expansión de libros, instrumentos y conocimientos, que se extendieron por todo el mundo junto con productos como sedas, cobre o animales exóticos. Una de las primeras consecuencias de este comercio fue la mejora de los datos geográficos. Del mismo modo que

Colón había empleado los datos astronómicos de Regiomontanus, los comerciantes aprovecharon los perfeccionamientos en la fabricación de instrumentos y en las técnicas de impresión para aventurarse a navegar más lejos y con mayor seguridad. El globo terráqueo de Nuremberg que aparece en la pintura de Holbein —elaborado por uno de los discípulos de Regiomontanus— incorpora detalles cartográficos sustraídos de los portugueses, que pretendían proteger esa valiosa información. Armados con nuevos equipos de medición, los navegantes trazaron mapas más precisos de los océanos y de las líneas de costa, aunque las masas continentales siguieron estando mayoritariamente vacías. Con la expansión del comercio internacional, los comerciantes exigieron (y lograron) datos cada vez más detallados y fiables, no solo de las dimensiones del mundo, sino también de los patrones de vientos, las corrientes marinas y las influencias magnéticas.

La información, las materias primas y los productos manufacturados recorrían el mundo en todas direcciones, cambiándolo para siempre. Las influencias eran bidireccionales. Los europeos marcaron de forma indeleble los territorios que colonizaban, pero sus países de origen también sufrieron cambios permanentes. El Nuevo Mundo trajo a Europa nuevos cultivos como las patatas, las alubias y los tomates; a su vez, América no solo recibió cebollas, coles y lechugas de Europa, sino también medicinas, sandías y arroz traídos por los esclavos africanos. Los mercaderes y misioneros que sobrevivieron en ultramar fueron los que, prudentemente, adaptaron sus costumbres, aprendiendo de los guías locales qué alimentos podían comer y qué ropas llevar. Cuando los viajeros regresaban a casa traían con ellos esta información, de modo que la botánica, la agricultura y la medicina europeas sacaron provecho de la experiencia de personas a las que se solía considerar inferiores.

Los asiáticos, los africanos y los americanos se beneficiaron de los inesperados encuentros con europeos para ampliar sus propias economías mediante el suministro de comida y productos medicinales, telas y materiales de construcción. Cuando se dieron cuenta de que el mundo que les era tan familiar resultaba exótico para sus intrusos visitantes, ofrecieron a estos plantas y animales cuya principal función era causar asombro; el rinoceronte pintado por Durero —según él, del natural— había sido un regalo diplomático a Portugal de un gobernante hindú. Los comerciantes más emprendedores establecieron enseguida un próspero mercado internacional de curiosidades naturales, y persuadieron a los aristócratas europeos para que exhibieran estas costosas maravillas de la naturaleza junto a sus prestigiosas estatuas y

pinturas. La moda de coleccionar animales, plantas y minerales exóticos se inició en las cortes italianas y luego se extendió por Europa, incluidas las residencias privadas. A mediados del siglo XVII, el mercado de curiosidades había alcanzado tal magnitud que el cronista John Evelyn escribió, tras una visita a una tienda de recuerdos de París llamada *El arca de Noé*, que la tienda vendía «toda clase de curiosidades naturales o artificiales, indias o europeas, de lujo o de uso cotidiano, como vitrinas, conchas, marfil, porcelana, peces, insectos y aves disecadas, cuadros y un millar de otras exóticas extravagancias»[20].

El comercio mundial estimuló un resurgimiento de la historia natural cuyo origen no fueron las universidades, sino las cortes, las sociedades privadas y las colecciones personales. En las cortes, los príncipes y aristócratas ofrecían su mecenazgo mediante el soporte financiero a los estudiosos que se relacionaban con los nobles ilustrados y comentaban sus últimas importaciones. En las ciudades, médicos y profesores exponían sus propias colecciones en museos privados, que se convirtieron en lugares de visita obligada para los turistas privilegiados, que luego comentaban sus experiencias entre grupos de eruditos. En la Figura 13[f13] aparece Ferrante Imperato, un influyente boticario, experimentador químico y experto en fósiles napolitano, mostrando sus espectaculares especímenes a unos visitantes distinguidos. En busca de ocio intelectual, se habían reunido en ese lugar para contemplar lo que se solía denominar un *teatro de la naturaleza*, una metáfora que llevaba implícita la intervención de Dios como supremo director de escena.

En la escena se ilustra una nueva forma de estudiar: a través de la conversación, en lugar de en clases magistrales. En las universidades, los profesores solían impartir conocimientos clásicos de autoridades firmemente establecidas, y lo que se esperaba de los estudiantes era que absorbieran la información, no que la desafiaran. Pero en las sociedades y en los museos, eruditos y aristócratas comentaban las cuestiones entre sí y llegaban a sus propias conclusiones, aprendiendo unos de otros tanto como de los especímenes naturales en sí. Los naturalistas recorrían Europa visitando a otros coleccionistas e incorporando también los datos reunidos por expertos indígenas en todo el mundo.

A pesar de este cambio de enfoque, al principio la historia natural clásica experimentó más una expansión que una revolución. La organización de los especímenes de Imperato es cuidadosa, pero responde a criterios de aspecto y origen, no a ningún esquema de clasificación abstracto. Si su cocodrilo ocupa

un lugar prominente colgado del techo no es por su significancia científica, sino porque se trata de un ejemplar grande, singular y costoso. Los naturalistas del Renacimiento aspiraban a describir y no a explicar, a recopilar antes que a clasificar, a estudiar lo particular en lugar de basarse en factores universales. En vez de volver a diseñar los antiguos catálogos de plantas y animales, que solían tener finalidades médicas, los coleccionistas agrupaban los nuevos especímenes en las categorías clásicas establecidas por los griegos.

Aparte de especímenes, la información sobre los lugares distantes del mundo se ofrecía también en forma de palabras e imágenes. El gabinete de curiosidades de Imperato contiene lujosos libros, caras y escasas fuentes de información sobre la naturaleza, pero cuyas ilustraciones suelen ser muy distintas de las modernas ilustraciones científicas. Con frecuencia esto se debía a que, igual que Durero, los artistas nunca habían visto los animales o plantas que intentaban representar. Sin embargo, es significativo hacer notar que a menudo los ilustradores creaban representaciones simbólicas, no realistas. Por ejemplo, después de que un marino español trajese de Centroamérica una receta tradicional para preparar un purgante que implicaba moler una raíz local, su médico la dibujó en forma de flor para indicar su importancia. A pesar de que la ilustración era errónea, los boticarios de toda Europa empezaron a vender esta droga importada como remedio seguro, eficaz y rentable.

Aunque se puede pensar que el realismo es el único estilo útil para la historia natural, las imágenes antiguas de plantas suelen estar dibujadas de forma muy esquemática. El motivo no era que los ilustradores careciesen de las habilidades necesarias, sino que en realidad estaban representando significados ocultos, no aspectos superficiales. Las imágenes se percibían como algo potencialmente engañoso. El enciclopedista Plinio explicaba la historia de Zeuxis, que representaba las uvas de una forma tan fiel que los pájaros intentaban comérselas. Sin embargo, su rival Parrasio logró superarlo; al ver el telón que Parrasio había pintado, Zeuxis solicitó que lo retirasen para ver el cuadro que había detrás.

Para Aristóteles, Plinio y otros recopiladores clásicos, las imágenes artificiales no eran adecuadas para revelar los secretos de la naturaleza, de modo que preferían describir con palabras, no con imágenes. En todo caso los estudiosos, que trabajaban con la cabeza, apenas tenían contacto social con los artistas, a los que se consideraba trabajadores manuales. Los textos académicos no contenían ilustraciones de la historia natural; estas se hallaban en los manuscritos monásticos iluminados y en las guías prácticas para ayudar

a los médicos y sanadores a identificar plantas medicinales y preparar drogas. Los coleccionistas seguían confiando en los herbarios preparados originalmente por los expertos griegos —el de Dioscórides era especialmente bien considerado— y que habían sido copiados a mano en numerosas ocasiones de una generación a la siguiente.

El aspecto de los álbumes de historia natural cambió en el siglo XVIII, cuando los artistas empezaron a crear grabados de gran tamaño en estilo realista y los naturalistas acentuaron la importancia de la observación minuciosa. Con el objetivo de superar a sus antepasados clásicos, los coleccionistas recopilaron exhaustivos y detallados catálogos del mundo natural de Dios. Empezaron por las plantas, de gran valor en agricultura y medicina, y más adelante prestaron atención a los animales. La más famosa de las enciclopedias era la de Conrad Gesner, un médico de Zurich cuya colección personal atraía a visitantes de toda Europa. Gesner actualizó las obras clásicas, no solo incorporando ilustraciones realistas de los animales ya conocidos, sino también datos sobre las criaturas del Nuevo Mundo, como conejos de Indias o zarigüeyas. Era inevitable que la fiabilidad de estos últimos no fuera muy grande; los naturalistas afirmaban, por ejemplo, que las aves del paraíso no podían aterrizar nunca, pero esto se debía a que los cazadores de especímenes profesionales solían cortarles las patas antes de entregar las pieles para su inspección.

Gesner era un humanista culto, no un biólogo moderno. Para él, investigar significaba consultar innumerables libros para recopilar toda la información que pudiese encontrar, y esto hacía que los detalles que ahora se considerarían científicos —como dieta, longevidad o hábitat— se mezclasen con fábulas y folklore. Consideremos, por ejemplo, el caso del zorro. Aparte de dar a sus lectores información acerca de su aspecto, digestibilidad y usos medicinales, Gesner ofrece su nombre en numerosos idiomas, además de más de ochenta datos surtidos que halló en textos diversos, de Aristóteles en adelante. Casi la mitad del artículo está dedicado al simbolismo del zorro. Aunque su reputación de bestia astuta sigue estando vigente, Gesner incluye numerosas y singulares citas y proverbios, como «el zorro no acepta sobornos». En el apartado más desconcertante para los lectores modernos, Gesner describe a un zorro que, sosteniendo una máscara entre sus patas, declara: «qué bella cabeza, pero sin sensatez», un alegórico consejo para dar más valor al buen juicio que a la belleza.

Chistes y alusiones incomprensibles hacen referencia a creencias culturales fundamentales en la época y que ya no existen. Durante el

Renacimiento, los mitos y las máscaras estaban indisolublemente unidos a la condición de zorro. La comprensión de un zorro (o de cualquier otra criatura) conllevaba el conocimiento de su significado moral y sus atributos psicológicos, además de su papel físico en el mundo natural. Este simbolismo era razonable, porque las personas imaginaban que fuerzas ocultas imperceptibles vinculaban a los animales, las plantas y los seres humanos en un universo holístico y empático. El zorro parlante de Gesner indica la importancia que sus contemporáneos atribuían a los emblemas, las imágenes simbólicas adornadas con máximas y los versos explicativos. Mucho tiempo después de que se generalizaran las imágenes realistas, este punto de vista simbólico seguía impregnando las representaciones del mundo natural: las imágenes de nuevo estilo se incorporaban en los viejos patrones de pensamiento.

Uno siempre puede decir «Si se mira en retrospectiva…», pero esa perspectiva puede resultar engañosa. En las versiones tradicionales de la historia de los siglos XV y XVI, Regiomontanus y Gesner se consideran ciencia, mientras que Holbein y Durero son adscritos al arte. Estas rígidas divisiones entre disciplinas aún no se habían creado, y estos cuatro hombres compartían la visión común de hallar nuevas formas de explorar y representar el mundo, tanto en imágenes como en palabras. Para rastrear la historia de la ciencia es necesario olvidarse del presente y tratar de comprender el pasado. Para los antidarwinistas victorianos era difícil aceptar su ascendencia animal; los científicos modernos deberían admitir que entre sus predecesores no solo se hallan los intelectuales universitarios, sino también los herboristas, los navegantes, los brujos sanadores y los constructores de instrumentos.

2 - Magia

Con frecuencia he admirado el misticismo de Pitágoras y la magia secreta de los números.

Sir Thomas Browne, *La religión de un médico* (1643)

En 1947, el economista John Maynard Keynes asombró al mundo académico al afirmar que «Newton no fue el primer representante de la era de la razón, sino el último de los magos»[21]. Los científicos se escandalizaron; se negaban a creer que el más grande de sus héroes estuviese contaminado por una posible asociación con la astrología, la alquimia y otras artes mágicas. Pero actualmente los historiadores están de acuerdo con el veredicto de Keynes. Newton desarrolló, no rechazó, el trabajo de los grandes magos que le habían precedido, y las ideas mágicas se hallan en el mismo núcleo del conocimiento científico moderno.

Los magos del Renacimiento eran personas ilustradas con poco o nada que ver con las posteriores parodias de hechiceros de negra capa que invocaban poderes satánicos. Muchos de los magos eran, de hecho, hombres instruidos y respetados que creían que las matemáticas eran la clave para entender el universo, y cuya influencia se extendió más allá de la época de Newton. Sus ideas y actividades condicionaron en gran medida el desarrollo futuro de la ciencia. Comparados con los intelectuales universitarios dedicados a contemplar las maravillas de la creación de Dios, los magos se parecían más a los modernos científicos en su creencia de que, cuanto mejor comprendieran el mundo, mejor podrían modificarlo y controlarlo.

La magia impregna por completo el arte, la música y la literatura del siglo XVII. El mago más célebre de la historia en Inglaterra fue John Dee, un matemático que había estudiado en la universidad y al que la reina Isabel I seleccionó personalmente como consejero de asuntos navales y estrategia política, así como para el cálculo de las fechas astrológicamente favorables para los acontecimientos de la corte. Aunque murió en la pobreza, Dee representaba un símbolo de poder para sus contemporáneos más jóvenes, como William Shakespeare, que lo utilizó en *La tempestad* como modelo de

Próspero, el mago que se inmiscuye en la naturaleza al montar un naufragio ficticio en una isla invadida por una etérea música.

Gracias a una «auspiciosa estrella» astrológicamente favorable, Próspero se encuentra en el punto álgido de sus poderes cuando organiza los acontecimientos en su reino marino, un teatro de la naturaleza en miniatura que permite al público contemplar el cosmos mágico. Próspero transforma a sus náufragos cautivos ordenando a Ariel, un espíritu angélico, que actúe de mediador entre los distintos reinos. Ariel, al ser una inteligencia inmortal, puede actuar sobre los cuatro elementos aristotélicos —tierra y agua, pero también aire y fuego—, mientras que los poderes humanos de Próspero son limitados. En su evocación poética de la transformación, Ariel describe cómo un ahogado cambia físicamente al estado superior de perlas y coral, mientras que, al mismo tiempo, su alma se purifica espiritualmente y se acerca a Dios, el gran Mago del cosmos:

> Yace tu padre en el fondo
> y sus huesos son coral.
> Ahora perlas son sus ojos;
> nada en él se deshará,
> pues el mar le cambia todo
> en un bien maravilloso.
> Ninfas por él doblarán.
>
> Coro: *Din, don*.[22]

El nombre de Ariel ya había aparecido en el texto de magia estándar de los tiempos isabelinos, Filosofía oculta de Henry Agrippa (publicada en primera edición en 1533, en latín). La magia de Agrippa no solo aparecía en grandes obras de la literatura, sino que se incorporaba en los modelos científicos del Universo. Agrippa fue un mago ambulante y diplomático alemán que estudió por toda Europa a principios del siglo XVI, y su importancia no se debe a la originalidad de sus ideas, sino a su síntesis de los primeros desarrollos efectuados en Europa a partir de la herencia griega y árabe.

La fuente de información más importante para Agrippa fue Hermes Trismegisto, amalgama ficticia de varios sacerdotes egipcios y supuesto autor de innumerables y variados manuscritos griegos y árabes (algunos de los cuales se hallaban entre las lecturas favoritas de Newton). Aunque no fue una persona real, Hermes Trismegisto no era ningún enigmático charlatán, sino una figura clave en la cultura del Renacimiento, de quien se suponía que había sido elegido para recibir la sabiduría de Dios en el principio de la historia humana. A fines del siglo XV, Hermes Trismegisto había quedado

absorbido en la perspectiva religiosa del Renacimiento. Su retrato se halla de forma prominente en el suelo de mosaico de la catedral de Siena, con un turbante puntiagudo y flanqueado por sibilas griegas que profetizan la llegada de Cristo. En la catedral de Florencia, un canónigo de nombre Marsilio Ficino tradujo sus supuestos escritos, que un monje que recopilaba manuscritos para los Médicis había agrupado de forma aleatoria. Ficino, un estudioso y devoto católico, interpretó la incoherente mezcla de textos herméticos que había heredado como antiguas revelaciones egipcias que pronosticaban los hechos históricos del cristianismo. Ficino estudió también las obras de Platón y de los escritores griegos que acababan de llegar del imperio islámico, y creó una combinación de estas dispares fuentes para producir su propia versión del neoplatonismo renacentista —un cóctel filosófico de ideas platónicas, cristianas y mágicas—.

La otra influencia fundamental en la magia de Agrippa fue el cabalismo, una tradición judía cuyos orígenes, según se contaba, se remontaban al mismo Moisés, y que Pico della Mirandola, uno de los colegas neoplatónicos de Ficino, había traído a Florencia desde España. Igual que Ficino, Pico estaba fascinado por las creencias herméticas, pero para él también el pensamiento judío residía en el núcleo del ocultismo renacentista. A diferencia de la magia natural de Ficino, la magia cabalística de Pico aspiraba a sacar provecho de poderes espirituales superiores y permitía al mago acceder a Dios mediante la comunicación con Sus ángeles. Pico cristianizó la cábala, imaginando su propia alma ascendiendo hacia Dios a través de una escalera cósmico-teológica cuyos escalones vinculaban las esferas aristotélicas con los arcángeles hebraicos.

El hermetismo y el cabalismo pueden parecer extravagantes en la actualidad, pero recorrieron una larga historia. Se basaban en sólidos cimientos filosóficos y, reinterpretadas por los intelectuales renacentistas, contribuyeron a las ideas neoplatónicas, que ejercieron un impacto fundamental en el desarrollo de la ciencia. Ficino y Pico murieron a finales del siglo XV, pero el neoplatonismo sobrevivió durante dos siglos más y quedó imbricado en el pensamiento científico. Por ejemplo, a Copérnico se le considera uno de los padres fundadores de la ciencia por dos innovaciones fundamentales: situar el Sol en el centro del Universo y sostener un punto de vista matemático del cosmos. Ambos conceptos eran ideales neoplatónicos. Igual que Hermes Trismegisto, Copérnico consideraba que el Sol no era más que Dios hecho visible, y reintrodujo las cosmologías geométricas de Platón y Pitágoras que los magos habían resucitado.

Los magos como Agrippa combinaron estas ideas herméticas y cabalísticas e incorporaron el pensamiento neoplatónico para obtener como resultado un cosmos aristotélico revisado con asociaciones zodiacales. Explicaron que la virtud de Dios se transmite desde los ángeles en el reino exterior, pasando por las estrellas y el cielo hasta llegar al mundo de los elementos inferior. Mientras que los practicantes de la magia negra trataban con diablos y controlaban fuerzas malignas y satánicas, los magos serios utilizaban las influencias benignas naturales y buscaban tanto el crecimiento espiritual como la prosperidad material. Como decía el propio Ficino, igual que los granjeros labran sus campos según el tiempo que haga, del mismo modo los magos son agricultores cósmicos que llegan a sus resultados adaptándose a las fuerzas superiores. Al distinguir entre la magia natural y la magia negra, Agrippa calmó las críticas de los católicos, que denunciaban a los magos por aprobar ritos paganos y confiar en espíritus diabólicos. Sin embargo, seguían acusando a los magos naturales de pecar de soberbia por atribuirse el papel de Dios, al aspirar a dominar los poderes ocultos de la Naturaleza y modificar de forma activa el Universo en lugar de admirar pasivamente Su omnipotencia.

Los magos naturales de la escuela de Agrippa compartían con los científicos modernos la meta de controlar el Universo mediante la intervención directa en él. Los principiantes empezaban aprendiendo la forma de alterar el mundo físico mediante la invocación de afinidades innatas e influencias planetarias. Para ello debían enfrentarse a un complicado proceso de aprendizaje. Por ejemplo, Leo es una constelación solar, y los gallos cantan al amanecer; jerárquicamente, el Sol es superior a ambas bestias, pero los gallos son más poderosos que los leones porque el aire es un elemento superior a la tierra. Mediante asociaciones astrales, los magos naturales adivinaban el futuro y preparaban filtros de amor, conjuros y medicinas, algunas de las cuales eran muy eficaces; por ello, las personas estaban dispuestas a pagarles por su ayuda. Cuando los magos recomendaban a sus estudiantes que la protección contra la depresión consistía en contrarrestar la influencia melancólica de Saturno con oro del Sol y flores de Venus, estaban en realidad ofreciendo el sensato consejo de salir a pasear por el campo en un día soleado. Los magos más avanzados hacían mucho hincapié en las manipulaciones matemáticas; el dominio del simbolismo numérico les permitía obtener poderes celestiales de las estrellas y los planetas. En el nivel superior, un mago «con todas las de la ley» oficiaba ceremonias religiosas para poderse comunicar con los espíritus angélicos de la esfera intelectual.

La magia estaba dotada de aspectos teóricos y prácticos, lo que la hacía atractiva tanto para caballeros cultos como para boticarios, herboristas y artesanos que ya estaban acostumbrados a la manipulación de instrumentos y la preparación de pociones. Igual que la ciencia moderna, la magia conllevaba la combinación de destreza intelectual y manual. Los adeptos eruditos como Agrippa escribían en latín para lectores cultivados, mientras que, en el otro extremo de la escala social, los artesanos utilizaban el boca-oreja o manuales en código para trasmitir sus conocimientos. Con la generalización de la edición de libros y de la alfabetización a principios del siglo XVI, los artesanos y los académicos empezaron a intercambiar recetas secretas que habían desarrollado a lo largo de cientos de años. Los conocimientos especializados de los magos tenían valor comercial, y —principalmente en las cortes alemanas— ricos mecenas contrataban a consejeros para que les ayudasen a obtener más beneficios de sus minas o a mejorar sus técnicas de fabricación.

Esta experiencia práctica quedaba excluida de los planes de estudio convencionales de las universidades, pero algunos intelectuales decidieron optar por el progreso, dando la espalda a las instituciones tradicionales y adoptando la magia. En la primera mitad del siglo XVI es necesario destacar a un revolucionario que ejerció una gran influencia; se trata del contemporáneo de Agrippa Theophrastus von Hohenheim, qué se hacía llamar Paracelso («*contra Celso*», un médico romano) para manifestar su rechazo del pasado clásico. Este hombre áspero y arrogante parecía buscar la oposición. Paracelso proclamaba que el conocimiento debía estar disponible para todos, y logró escandalizar a las autoridades universitarias al llevar un delantal de cuero y hablar en alemán en su clase inaugural. Como Agrippa, Paracelso recorrió Europa enseñando y estudiando, pero se jactaba de que, en lugar de hablar con sabios y eruditos, prefería aprender de vagabundos, ancianas y barberos.

La influencia de Paracelso fue extraordinariamente mayor que la de muchos de sus convencionales contemporáneos. Sus conferencias públicas fuera de las universidades, en ciudades pequeñas y pueblos, contribuyeron a la extensión de sus ideas, que fueron adoptadas por muchos hombres y mujeres con escasa educación formal, primero en los países germánicos y, más adelante, en otros países. Paracelso reformó la medicina y la acercó a la química; sostenía que, mediante sus técnicas mágicas, podía preparar *supermedicamentos* partiendo de materiales ordinarios. También resucitó la magia hermética, afirmando que cada ser humano es una versión condensada de todo el Universo, un *microcosmos* del *macrocosmos*. Paracelso, fervoroso

cristiano, declaraba que los terapeutas devotos podían descifrar las correspondencias entre los seres humanos y el cosmos, y era partidario de la doctrina de las signaturas, según la cual los símbolos de la naturaleza revelan qué drogas son eficaces para los órganos relacionados, como flores amarillas para el hígado u orquídeas para los testículos. Cuando Shakespeare escribió *Sueño de una noche de verano,* sabía que su público entendería que una flor «ahora púrpura por la herida del amor» podía hacer que Titania se obsesionase mágicamente por Canilla.[23]

Esta insistencia en la búsqueda de terapias específicas para enfrentarse a enfermedades concretas era radicalmente distinta a los intentos aristotélicos de recuperar el equilibrio de los humores internos del individuo. Se parecía más bien a las ideas modernas de que los agentes externos —bacterias, virus — atacan distintas partes del cuerpo. Y sin embargo, a pesar del éxito de las curas de Paracelso, la élite médica despreciaba a este sujeto grandilocuente que pretendía acabar con siglos de aprendizaje. Los intereses financieros tenían también su papel: los médicos podían perder sus pacientes si permitían que Paracelso minase su prestigio de expertos, y el decano de una universidad en concreto puso freno a la recomendación de Paracelso de utilizar mercurio para el tratamiento de la sífilis porque suponía una amenaza para los beneficios obtenidos de la elaboración de remedios a base de hierbas importadas. Sin embargo, a pesar de que los médicos ilustrados arrastraron su nombre por el lodo, Paracelso ejerció una tremenda influencia en los campos del tratamiento y la formación, ya que los aristócratas ricos —incluida Isabel I de Inglaterra y Enrique IV de Francia— contrataban a terapeutas de la escuela de Paracelso como complemento a sus consejeros médicos oficiales. Los médicos reales asimilaron y adaptaron las ideas de Paracelso, de modo que, a pesar de la pérdida de credibilidad de sus teorías, sus remedios químicos se incorporaron a la medicina convencional.

Estas nuevas ideas surgidas en el continente llegaron también a Inglaterra, donde residía el gran mago John Dee. En la época en que solo era un estudiante en la Universidad de Cambridge, Dee devoraba los textos acerca de la magia de Paracelso y de Agrippa. Aunque luego rechazó el sistema universitario, Dee se convirtió en el matemático más notable de Inglaterra en la época isabelina, y trabajó en el estudio de las estrellas para una navegación más segura, para el cálculo de las festividades cristianas y para el pronóstico de fechas auspiciosas. Dee fue un mago en todos los sentidos, y se jactaba de que se comunicaba con los ángeles, al tiempo que se lamentaba de ser

injustamente vilipendiado como «compañero de los sabuesos del infierno, invocador y hechicero de los espíritus maléficos»[24].

Para Dee, las matemáticas y la magia no eran contradictorias, sino complementarias. Por ejemplo, sostenía que los arquitectos debían construir sus edificios en armonía cósmica; para ello, debían calcular sus proporciones de forma que se ajustasen a las dimensiones humanas (de forma similar al famoso dibujo de Leonardo en el que se representa a un hombre inscrito en un círculo y un cuadrado). Dee adoptó pronto las ideas de Copérnico, y calculó los movimientos de la Tierra alrededor del Sol, pero también proclamó su creencia en un Universo jerárquico y mágico, unido por poderes ocultos. Con el mecenazgo de la reina y el respeto de toda Europa por sus habilidades matemáticas, Dee se convirtió en un aspirante a mago que gastaba gran cantidad de dinero en la compra de instrumentos, contratar ayudantes y —como Próspero— crear una impresionante biblioteca de varios miles de volúmenes, la mayor de Inglaterra. Puesto que las universidades seguían empleando el plan de estudios clásico tradicional y la *Royal Society* aún no se había fundado, la casa de Dee se convirtió en el mayor centro de investigación experimental del país.

Lejos de dejarse engullir por un misticismo pasado de moda, Dee fue el precursor de la ciencia moderna. El impacto inmediato de sus obras era mayor que el de los debates teóricos de los sedentarios académicos, porque estaba interesado por los problemas prácticos, como la elevación de pesos, la prospección y el diseño de instrumentos ópticos. Como neoplatónico, Dee creía que las matemáticas eran esenciales para la comprensión del cosmos. Para él, los números y las formas conllevaban, además del significado científico, uno religioso, y los concebía como entes abstractos que mediaban entre el mundo físico y material y el reino de los ángeles. Dee, escribiendo en latín para sus iguales y en inglés para alcanzar a los hombres prácticos, explicó por qué los números eran esenciales, no solo para el seguimiento de las estrellas, sino también para actividades más mundanas como la planificación de tácticas militares, la toma de decisiones legales y la fabricación de poleas, mapas o relojes.

Dee llevó a cabo su labor fuera de las universidades y combinó la investigación teórica con el trabajo de laboratorio y el desarrollo de aplicaciones prácticas, características todas ellas de la ciencia moderna. Fue también pionero de un nuevo estilo de vida científico para los caballeros, ya que ganaba dinero trabajando en su propia casa. Los eruditos ingleses de la época eran mayoritariamente hombres solteros recluidos en monasterios o

universidades, e incluso los magos del continente europeo evitaban casarse para mantener la pureza de su alma. Dee acabó con todas esas convenciones: vivía en su casa, estaba casado y ganaba el sustento de su familia con sus investigaciones científicas. Dee y su esposa Jane Fromond, que había sido dama de honor de Isabel I, se vieron obligados a negociar una serie de directrices para este nuevo tipo experimental de asociación. Las líneas de autoridad no estaban perfectamente delimitadas. Él trabajaba en el territorio doméstico tradicional de la mujer, mientras que las tareas de ella incluían también atender a los ayudantes de Dee que vivían en la casa y recibir a sus huéspedes académicos. Como es lógico, cuando el dinero escaseaba, los dos solían discutir acerca de la necesidad de comprar tantos costosos libros e instrumentos, por no hablar de los sueldos de los aprendices que, cada vez en mayor medida, dominaban la vida familiar. Durante los dos siglos posteriores, este tipo de colaboración doméstica se hizo más habitual entre los científicos emprendedores, que convertían sus casas en talleres, escuelas y centros de investigación. No fue hasta la época victoriana que los científicos empezaron a trabajar de forma regular en grandes laboratorios colectivos adscritos a universidades y fábricas. Antes, la ciencia solía ser una actividad casera en la que se implicaba a menudo toda la familia. La ciencia moderna no surge únicamente de las universidades, sino también de las actividades cotidianas, la artesanía y las prácticas mágicas. En el final de *La tempestad*, Próspero renuncia a sus poderes especiales, pero no antes de que sus hechizos hayan transformado a los habitantes de la isla de forma permanente. Asímismo, aunque John Dee y otros grandes magos fueron denunciados posteriormente como charlatanes, su influencia se mantuvo. Los magos y los artesanos enseñaron a los filósofos naturales a utilizar sus manos al mismo tiempo que sus cabezas; si aspiraban a controlar el mundo, debían abandonar sus aislados estudios y entrar en contacto con la realidad física.

3 - Astronomía

ANDREA: ¡Desventurado el país que carece de héroes!
GALILEO: No: desventurado el país que los necesita.

Bertolt Brecht, *Vida de Galileo* (1939)

En 1939, el dramaturgo alemán Bertolt Brecht mostró su desaprobación por la política de los nazis mediante una obra de teatro sobre el heroico comportamiento de Galileo durante su proceso por la Inquisición católica. Para construir su paralelismo político, Brecht recurrió al atractivo mito de una prolongada guerra entre los revolucionarios científicos, —Nicolás Copérnico, Johannes Kepler, Galileo Galilei—, y los fanáticos religiosos para colocar el Sol en el centro del Universo. Los científicos de la era victoriana describían a estos hombres como mártires de la razón que se sacrificaban para mantener encendida la llama de la verdad, una imagen de confrontación entre ciencia y religión que sigue teniendo éxito. Sin embargo, al mirar desde su propio punto de vista, los tres hombres eran profundamente religiosos, y estaban más preocupados por sus propias vidas que por abrir nuevos caminos hacia el futuro.

Brecht podría haber basado su ficción en otro de estos tres héroes astronómicos; por ejemplo Copérnico, con el que el público alemán estaba más familiarizado en aquellos tiempos, pero que también era más polémico, por el viejo debate entre los chovinistas alemanes y polacos, cada grupo reclamándolo para sí. Esta rivalidad alcanzó su punto álgido en 1943, el cuatrocientos aniversario de la publicación de su cosmología *Sobre el movimiento de las esferas celestiales*, en la que el Sol se hallaba en el centro. Después de que el régimen nazi pusiera en circulación sellos en los que aparecía Copérnico con un marco de esvásticas, los exiliados polacos en Nueva York contraatacaron con su propia campaña de propaganda: encargaron al artista Arthur Szyk que produjera una imagen conmemorativa de Copérnico como su héroe nacional (Figura 14**[f14]**).

La deslumbrante imagen, cargada de símbolos polacos (los colores nacionales —blanco y rojo—, el águila real, el escudo de armas de la Universidad de Cracovia), idolatra a Copérnico, pero distorsiona su relevancia científica. Aunque tuvo un trabajo oficial en la Iglesia, este Copérnico lleva una cadena de académico y un gorro ribeteado de piel, y sostiene un compás, que simboliza de forma convencional a los astrónomos. La linterna implica sus grandes dotes de observador, cuando en realidad Copérnico era un teórico cuyas ideas procedían de los textos antiguos, no de las estrellas. Los lemas en latín y en polaco llevan a creer falsamente que Copérnico triunfó de la noche a la mañana. La realidad es que, incluso cincuenta años más tarde, el número de conversos era reducido, y la «revolución copernicana» fue en realidad un proceso prolongado en el que participaron muchas personas. El diagrama planetario lleva como cabecera «Copérnico murió, pero nació la ciencia», a pesar de que —igual que Newton y otros innovadores célebres—, Copérnico había resucitado la sabiduría antigua para crear nuevos conocimientos.

Copérnico, lejos de ser un erudito prominente, era en realidad un oscuro administrador eclesiástico al que protegía su acaudalado tío. Después de estudiar en la Universidad de Cracovia, remota pero famosa en el campo de la astronomía, Copérnico dio clases en Italia, en donde conoció el legado neoplatónico de Ficino, así como las precisas observaciones de Regiomontanus y sus discípulos. Copérnico era principalmente un intelectual de escritorio, con el corazón anclado en el pasado. Con una sólida formación clásica, utilizaba técnicas tradicionales de la retórica y escribía a favor (no en contra) de sus colegas de la Iglesia.

Copérnico buscaba el orden. Como Ficino y Pico, Copérnico creía en un Universo armonioso y matemáticamente estructurado, y dedicó su neoplatónico espíritu al problema práctico de mejorar los pronósticos de las estrellas. Los astrónomos pretendían hallar mejores formas de mantener la precisión de sus calendarios y de efectuar diagnósticos médicos, pero vieron que el sistema de Ptolomeo (véase «Cosmos» en el capítulo 1) era complicado y a veces no se ajustaba a las observaciones. Para Copérnico había también otro problema igual de serio: los epiciclos de Ptolomeo no le complacían estéticamente. Copérnico resolvió muchas de estas dificultades situando el Sol cerca del centro de los planetas que giran (aunque no exactamente en el centro). De esta forma satisfacía su neoplatonismo ofreciendo al Sol la posición más importante, al tiempo que conservaba las órbitas perfectamente circulares. Con la eliminación de los farragosos rodeos que daba Ptolomeo, pudo colocar los planetas en el mismo orden que el tiempo que tardaban en

completar sus órbitas. Y algo que era de especial importancia para los astrónomos prácticos: Copérnico demostró que su modelo era tan eficaz como el de Ptolomeo para efectuar predicciones.

Según la propaganda científica, el libro de Ptolomeo fue transcendental, pero la verdad es que en su época no hubo grandes manifestaciones de protesta. Aunque el libro estaba dedicado al papa, Su Santidad no hizo demasiado caso de este complicado libro cuyo autor era un funcionario polaco. El peligro del universo heliocéntrico no era que contradijese la Biblia —una objeción que surgiría más adelante—, sino que contravenía el sentido común y la física de Aristóteles, con su distinción fundamental entre el reino terrestre, caótico y corrupto, y la perfección inmutable de los cielos.

En aquellos momentos los astrónomos no pusieron demasiadas objeciones al modelo de Copérnico, porque para ellos era simplemente eso: un modelo de cálculo de las posiciones de los planetas, no una descripción de cómo era realmente el Universo. Y sin embargo, Copérnico había logrado introducir de forma oculta una nueva forma de definir el ámbito del trabajo de los astrónomos, porque sugería discretamente la posibilidad de que tuviesen en cuenta no solo la utilidad de sus esquemas cosmológicos, sino también si se ajustaban a la realidad. Oculto tras un velo retórico de falsa ingenuidad, Copérnico se disculpaba por el uso de técnicas desarrolladas por matemáticos a fin de dar respuesta a cuestiones acerca de la realidad que anteriormente estaban reservadas a sus superiores intelectuales, los filósofos naturales. La unión de los matemáticos y los filósofos naturales supuso una diferencia fundamental, que implicó tanto cambios sociales como intelectuales. Pasarían más de cien años antes de que Newton combinase ambos puntos de vista en su libro sobre la gravedad, convirtiendo la astronomía en una ciencia matemática cuya finalidad era tanto describir el cosmos como explicarlo.

Tradicionalmente, los astrónomos trabajaban en dos lugares independientes. En las universidades, la astronomía —como la aritmética y la geometría— pertenecía al *quadrivium* medieval; adoptando un punto de vista matemático, los profesores se centraban en enseñar a los estudiantes a calcular predicciones precisas; la búsqueda de la verdad caía fuera de sus atribuciones. Fuera de los círculos académicos, las ciudades albergaban una gran variedad de astrónomos astrológicos, así como artesanos que, como Regiomontanus, se dedicaban a fabricar instrumentos e imprimir tablas. Tras las innovaciones de Copérnico, una nueva forma de astronomía surgió en un tercer escenario: las cortes reales. Con el apoyo de adinerados príncipes, nobles ilustrados construían costosos instrumentos con los que no solo

efectuaban cálculos, sino que descubrían el funcionamiento del Universo. A cambio, sus mecenas reales obtenían prestigio. Los observatorios de los aristócratas, que actuaban como complemento a sus museos repletos de curiosidades de alto precio, servían de escaparate de las riquezas invertidas en actividades intelectuales.

El más importante de estos astrónomos cortesanos de nuevo cuño fue Tycho Brahe, un noble danés que consiguió irritar a sus padres al empeñarse en estudiar astronomía, algo destinado a las clases bajas, y luego abandonar por completo el sistema universitario. Tycho logró finalmente obtener una subvención del rey para construir un enorme observatorio en la isla de Hven (que ahora es un centro del patrimonio nacional danés en territorio sueco). Con el dinero del rey, Tycho logró unir las mediciones y la teoría con el objetivo de hallar la verdadera estructura del cosmos. Actuando como el señor feudal de su isleño territorio, ejercía de gobernador de su séquito de matemáticos, hacía construir instrumentos e incluso instaló su propia imprenta para distribuir sus resultados. En la década de 1590, medio siglo después de la muerte de Copérnico, Tycho había recopilado una impresionante cantidad de datos de gran precisión, y también había desarrollado sus propias ideas sobre la estructura del Universo.

A diferencia del académico Copérnico, Tycho diseñaba, probaba y modificaba con frecuencia sus propios instrumentos. En la Figura 15**[f15]** se muestra su cuadrante gigante, un cuarto de arco de circunferencia de latón de unos dos metros de altura empotrado en la pared, que utilizaba para medir la posición exacta de una estrella en el momento en que pasaba por el pequeño visor de la parte superior izquierda. Casi toda esta imagen es, en sí, un cuadro: Tycho y su perro durmiente forman parte de un mural pintado dentro del propio cuadrante. Detrás de su brazo extendido se pueden ver emblemáticas ilustraciones de los tres pisos de su observatorio, cada uno de ellos flanqueado por arcos triunfales: la azotea, para efectuar observaciones nocturnas, la biblioteca, con su inmenso globo celeste, y el sótano, dedicado a llevar a cabo experimentos (como las pruebas alquímicas destinadas a hallar la mejor aleación para sustituir la punta de su nariz, que había sido cercenada en un duelo). El observador real es visible a la derecha, advirtiendo a sus asistentes para coordinar las mediciones de tiempo y posición de una estrella móvil.

Al tiempo que se enfrentaba a los problemas técnicos, Tycho luchaba también con un dilema teórico. Parecía obvio para él que la Biblia apoya la suposición aristotélica, de sentido común, de que la Tierra permanece estacionaria. ¿Cómo era posible conservar la agradable armonía del sistema

copernicano y al mismo tiempo devolver la Tierra al centro del cosmos? Tycho acabó hallando una retorcida solución. Según él, el Sol y la Luna giran alrededor de la Tierra, y el resto de planetas giran alrededor del Sol. Por extraña que pueda parecer esta solución, explicaba muchas observaciones de forma tan satisfactoria como los sistemas de Copérnico o de Ptolomeo. Desde un punto de vista funcional, no era fácil optar por uno de ellos; a finales del siglo XVI, los tres modelos coexistían, y cada uno de ellos tenía su propio y ruidoso grupo de partidarios.

Tycho y otros beneficiarios de apoyos reales descubrieron que se trataba de una situación provechosa pero arriesgada. Cuando sus mecenas reales perdieron interés, Tycho se vio obligado a abandonar Hven, pero encontró un nuevo patrón: el emperador, en Praga. Tras la muerte de Tycho en 1601 (al parecer debido a su negativa a vaciar la vejiga durante un banquete imperial), le sucedió su ayudante Johannes Kepler, un astrólogo y antiguo profesor universitario venido a menos que, como Copérnico y los neoplatónicos, creía en un cosmos geométrico con el Sol en el centro. Kepler heredó los precisos datos de Tycho y pudo beneficiarse de la mayor libertad intelectual de la corte en comparación con el sistema académico, y esto le permitió acercar la astronomía y la realidad al demostrar que las observaciones del danés se correspondían con órbitas planetarias elípticas, no circulares. Esta conclusión aparentemente científica le vino inspirada de un modo que ahora nos parecería realmente extraño: Kepler tuvo una visión de un cosmos musical, estructurado según las formas geométricas perfectas de Dios y cohesionado por poderes magnéticos ocultos.

En el armonioso esquema de Kepler, Dios había espaciado las esferas planetarias de modo que entre ellas pudieran situarse los sólidos platónicos. En la Figura 16**[f16]** se muestra su dibujo, en una hoja de papel tan grande que tuvo que plegarla para que cupiese en su libro. La esfera exterior de Saturno está separada de su vecina (Júpiter) por un cubo; más hacia el interior, una pirámide se halla entre Júpiter y Marte; otras formas definen las órbitas de la Tierra, Venus y Mercurio alrededor del Sol. Provocando la ira de los católicos, Kepler identificó el Sol central con Dios Padre, la esfera estacionaria externa con Dios Hijo y el espacio entre ambas con Dios Espíritu Santo. También hizo que su modelo filosófico fuese atractivo desde un punto de vista estético: sus dimensiones correspondían a las mediciones de distancias de las que disponía y, cuanto más alejado estuviese un planeta del Sol, más tiempo tardaba en recorrer su órbita.

Al presentar su nueva visión del Universo, Kepler decidió que su armonía divina tenía también una influencia física: la del propio Sol, que debía afectar al movimiento de los planetas. Empezó por abordar el problema del dios de la guerra en la astrología, Marte. La órbita de este planeta se desviaba claramente de la perfección del círculo, y esta discrepancia quedaba mucho más clara con la exactitud de los datos de Tycho. Kepler obtuvo ayuda de un experto contemporáneo, el médico inglés William Gilbert. En 1600, Gilbert, que se oponía al modo en que los aristotélicos concebían la Tierra como inferior al resto del Universo, declaró —citando a Hermes Trismegisto— que todo el Universo es un ser animado con un alma magnética. Kepler utilizó las ideas de Gilbert para imaginar el Sol como un gigantesco imán que atrae y repele a los planetas para controlar sus recorridos por el firmamento. La influencia de esta cosmología fue tan grande que, cuando Newton empezó a investigar los cometas setenta años más tarde, pensó que su movimiento se debía al magnetismo.

Después de muchos y tortuosos cálculos y de numerosos callejones sin salida, Kepler demostró que la órbita de Marte es una elipse, en la que el Sol no se halla en el centro, sino en una posición asimétrica: uno de los focos. Sin embargo, lo que ahora nos puede parecer un gran salto científico pasó décadas sumido en la oscuridad. No contento con haber resuelto el problema de Marte, Kepler intentó unificar la totalidad del sistema solar demostrando que Pitágoras tenía razón: las proporciones numéricas del cosmos guardan una armonía musical. Atribuyendo tonalidades celestiales a cada planeta (grave para Saturno, aguda para Venus), declaró que «los movimientos celestiales no son más que una música continua a varias voces, solo comprensible por el intelecto, no por el oído»[25]. La estética divina y las influencias astrológicas eran importantes para Kepler, y —por extraño que nos parezca ahora— fueron estos cálculos musicales los que le permitieron llegar a la tríada de leyes del movimiento elíptico de los planetas que Newton incorporó en la astronomía moderna.

Los astrónomos juzgaban las teorías por su capacidad predictiva, y Kepler pasó años recopilando un nuevo conjunto de cálculos planetarios, al que denominó diplomáticamente Tablas rodolfinas, en homenaje a su patrocinador de Praga, el emperador Rodolfo. No fue hasta 1631, cuando Mercurio pasó frente al Sol según las predicciones, cuando las observaciones confirmaron el modelo elíptico de Kepler. Para entonces Kepler ya había muerto, pero otro entusiasta defendía la causa copernicana: Galileo, siete años mayor y mucho mejor propagandista que Kepler, a pesar de que nunca renunció a su fe en las

órbitas circulares. Las pruebas físicas de Galileo fueron disputadas en numerosas ocasiones, pero persuadió a muchos astrónomos de que Copérnico tenía razón.

Como Tycho y Kepler, Galileo pasó del entorno universitario a las cortes, abandonando su puesto de profesor, con una escasa paga, después de solicitar y obtener el apoyo de los acaudalados príncipes Médicis en Florencia. Galileo pregonó la importancia de los instrumentos para hallar la verdadera estructura del Universo pero, en lugar de utilizar enormes aparatos de medida de ángulos como Tycho, Galileo empleaba un instrumento óptico de reciente invención: el telescopio. Tras oír hablar de este dispositivo desarrollado en Holanda, Galileo creó su propia versión, de mayor eficacia, con la que logró impresionar a la flota veneciana por la distancia a la que podía ver, y descubrió miríadas de estrellas que habían sido invisibles hasta ese momento. Sin embargo, a diferencia de lo que afirma la mitología científica, las imágenes telescópicas de Galileo no lograron convencer inmediatamente a los críticos del modelo de Copérnico. Una cosa era ser capaz de vislumbrar barcos; otra muy distinta, efectuar afirmaciones cosmológicas. Las borrosas imágenes eran ambiguas, y los aristotélicos objetaban que un simple tubo de fabricación terrestre no era apropiado para la apreciación de la perfección cósmica. Galileo no fue inmediatamente elogiado por sus resultados, sino que obtuvo un poder táctico que le permitió pasar hábilmente de matemático a filósofo de la corte.

En sus maniobras para hacerse con el puesto de astrónomo de la corte de la familia Médici en Florencia, Galileo adoptó diversas estrategias. La más obvia fue su uso del telescopio para atacar —pero no refutar— el modelo tradicional del Universo, con la Tierra en el centro. Razonaba por analogía y probabilidad, sin lograr generar nunca pruebas incontestables que pudiesen silenciar a sus detractores. Para socavar la objeción de que un cuerpo gigantesco como la Tierra no podía estar recorriendo el espacio a toda velocidad, Galileo afirmaba que sus imprecisas imágenes de la Luna mostraban una superficie rocosa, nada parecida a la celestial esfera que prometía Aristóteles. Galileo sostenía que, de hecho, se parecía a Bohemia; y, si su luna bohemia podía moverse, ¿por qué no la Tierra? Para demostrar que la pareja Tierra-Luna no es única —uno de los inconvenientes del sistema copernicano—. Galileo halló satélites que orbitaban alrededor de Júpiter. Su argumento físico más potente era demostrar que, a veces, Venus parece ser un disco circular como la Luna llena, algo imposible según el modelo de Ptolomeo. Sin embargo, ni siquiera este fenómeno convenció a los

adversarios de Galileo, porque era compatible con el esquema geocéntrico de Tycho.

Galileo era una persona astuta. Para ganarse a sus aristocráticos mecenas, tuvo la ingeniosa idea de llamar a los satélites de Júpiter «estrellas mediceas» porque, según sostenía, auguraban la prosperidad de la dinastía familiar. Con el fin de ampliar la expansión de sus ideas, Galileo daba llamativas charlas en fiestas y escribía persuasivos y polémicos libros. A diferencia de Copérnico, que vaciló modestamente antes de presentar un complicado problema matemático ante el papa, Galileo atraía multitudes con su expresiva propaganda, eliminando las fórmulas y alardeando, con el ingenio de un hechicero, de «revelar espléndidas y maravillosas visiones… desconocidas hasta entonces, que el autor observó recientemente por vez primera»[26]. Incluso después de que el papa lo conminara a guardar silencio, Galileo siguió intentando atraer apoyos mediante la publicación de su provocativo Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo (1632). Este libro representó una revolución, tanto en estilo como en contenido: Galileo lo escribió en italiano, no en latín, y presentó sus argumentos a través de una conversación entre tres personajes de ficción apenas disimulados, en los que el representante aristotélico medieval era mostrado como un bobo.

Utilizar al crédulo Simplicio para dar voz a las objeciones del mismo papa fue una maniobra imprudente; el papa decidió tomar medidas drásticas contra el filósofo que de forma tan flagrante había desobedecido sus órdenes y lo convocó a Roma para ser procesado. Este mandato fue mucho menos controvertido en su momento de lo que lo hubiese sido en la actualidad. El principio de libertad de expresión aún no se había convertido en una cuestión política, y los rebeldes en cualquier rincón de Europa eran habitualmente acallados con el fin de mantener la estabilidad. Como es bien sabido, Galileo fue hallado culpable, aunque hasta cierto punto el caso se utilizó principalmente como ejemplo. El castigo aplicado fue el más leve posible para un hombre anciano. En su laxo arresto domiciliario, Galileo siguió con sus investigaciones en una cómoda villa florentina, y encargó a su hija la incómoda tarea semanal de recitar los salmos que le habían impuesto como penitencia.

Más que ser una confrontación directa entre ciencia o religión, o entre Galileo y el papa, este complejo conflicto implicaba a facciones rivales dentro y fuera de la Iglesia. Una Tierra en movimiento contradice, sin duda, diversos pasajes de la Biblia, pero no todos los cristianos pensaban que eso tuviese importancia; de hecho, el propio Galileo era un devoto católico, y parte de sus

apoyos estaban dentro de la propia jerarquía de la Iglesia. La opinión entre la supuesta «oposición científica» estaba también dividida. Numerosos astrónomos siguieron defendiendo los modelos cósmicos de Tycho o de Ptolomeo, reiterando la demostración sencilla pero persuasiva de Aristóteles de que la Tierra se hallaba estacionaria: una flecha disparada hacia arriba cae en el mismo sitio desde el que fue disparada. Frente a este desacuerdo entre eruditos, uno podría pensar que quizá la Iglesia fue sensata al alinearse con la opinión mayoritaria y optar por la certeza bíblica. En juego se hallaban ambiciones y rivalidades personales y, si Galileo hubiese sido un poco más diplomático, quizá se las habría ingeniado para defender su universo heliocéntrico sin ganarse una condena oficial. No fue hasta el siglo XIX cuando los científicos, en medio de sus propias luchas por el poder, convirtieron a Galileo en un mártir. Brecht logró su objetivo retórico mediante la perpetuación de la visión simplificada de un héroe luchando contra la opresión católica, pero fueron los propagandistas científicos los que pusieron en marcha la idea de que ciencia y religión deben estar enfrentadas inevitablemente.

4 - Cuerpos

> Lo que ves en mí es un cuerpo agotado por los trabajos de la mente. He hallado en la Dama Naturaleza una amante no cruel, pero sí muy tímida: noches de vigilia, días de inquietud, frugales comidas y esfuerzo sin fin, es el premio de aquellos que la persiguen a través de sus laberintos y meandros.
>
> Alexander Pope, *Memorias de… Martin Scriblerus* (1741)

Mientras Nicolás Copérnico buscaba a Dios entre las estrellas, Andreas Vesalius estaba convirtiendo el cuerpo humano en el templo de Dios en la Tierra. Para el astrónomo polaco y el anatomista flamenco, dos hombres del norte que habían estudiado en Italia, los seres humanos eran versiones microcósmicas del Universo, vinculadas entre sí como partes complementarias de la unidad armoniosa de Dios. Sus grandes obras (una sobre cosmología, la otra sobre anatomía) aparecieron en 1543, y ambos autores son ahora considerados revolucionarios de la ciencia. Sin embargo, ambos miraban hacia el pasado. Igual que sus contemporáneos humanistas, que revivían el arte y la literatura clásicas, el deseo de Copérnico y Vesalius era resucitar la sabiduría de la Antigüedad.

Vesalius exhortaba a los médicos a que siguieran el ejemplo que Galeno había establecido más de mil años antes. En lugar de fiarse de los conocimientos abstractos, recomendaba estudiar por uno mismo el mejor de los textos disponibles: el propio cuerpo humano. Vesalius, que era hijo de un boticario, sostenía que los médicos de la élite debían poseer las habilidades de los cirujanos. Igual que otros reformadores, —Roger Bacon, John Dee, Tycho Brahe—, ayudó al avance de la ciencia animando a los nobles eruditos que trabajaban con la cabeza a que reconociesen las habilidades de los artesanos que trabajaban con sus manos. Cuando Vesalius posó para su retrato lo hizo sosteniendo un antebrazo humano diseccionado para hacer hincapié en su idea de que los médicos debían utilizar sus manos, cuya belleza inherente él mismo había puesto al descubierto con el escalpelo del anatomista.

Vesalius, como nuevo Galeno, gozaba de una importante ventaja sobre el original: podía diseccionar cadáveres humanos. Siguiendo el consejo del propio Galeno, que recomendaba observar personalmente, Vesalius descubrió importantes discrepancias entre la anatomía galénica tradicional —buena parte de la cual estaba basada en datos de animales, no de personas— y los cadáveres humanos, que examinó con gran meticulosidad. A partir de los métodos del propio Galeno, Vesalius corrigió errores fundamentales que se habían transmitido a lo largo de los siglos; los responsables eran hombres cuyos conocimientos se basaban en los libros y no en las pruebas reveladas por sus propios escalpelos.

La formación tradicional de los estudiantes de medicina consistía en mirar y escuchar, no en adquirir experiencia de primera mano. Los estudiantes se situaban de pie bajo el nivel de la alta cátedra oficial de un profesor que leía en voz alta textos en latín, mientras un cirujano diseccionaba un cadáver y un ayudante señalaba los rasgos importantes. El primer trabajo de Vesalius en Padua después de graduarse en medicina fue el de ayudante de disección, pero no tardó en revolucionar por completo este formalizado ritual de tres actores.

Vesalius era un extravagante intérprete en el teatro de la anatomía. Tal como se muestra en su retrato de la Figura 17**[f17]**, la portada de su inmenso volumen de diagramas anatómicos *Sobre la estructura del cuerpo humano*, Vesalius se convirtió en el actor principal y único. Mientras con su mano derecha aparta la carne de una mujer para mostrar el interior de su abdomen y con la izquierda señala hacia Dios, Vesalius conmina a los estudiantes a que se acerquen y aprendan por sí mismos, no solo a identificar los órganos, sino también a operar sobre ellos. Esta exhibición deliberadamente escandalosa del cuerpo de una mujer refuerza el compromiso de Vesalius de desvelar la verdad, mientras que el esqueleto actúa tanto de ayuda para la enseñanza como de *memento mori*, un recordatorio de la brevedad de la vida. Según Vesalius, el cadáver era el de una criminal convicta que había intentado sin éxito posponer la ejecución afirmando que estaba embarazada, y el lema latino de la parte inferior alude al mítico nacimiento de César. Vesalius estaba orgulloso de sus orígenes. En la parte superior, el texto recuerda a los lectores que Vesalius es de Bruselas, y las tres comadrejas de su escudo de armas hacen referencia a su nombre no latinizado, Andreas van Wesele. En esta imagen Vesalius alardea también de sus predecesores intelectuales, vinculándose a sí mismo con el pasado clásico. Las dos figuras de gran tamaño de la parte frontal son Aristóteles, que mira al perro que espera su

turno para ser diseccionado, y Galeno, que lleva un macuto con medicamentos en el cinto.

Otra de las innovaciones introducidas por Vesalius fue la combinación de imágenes y palabras. Vesalius ahondaba en el interior de huesos y órganos, etiquetándolos con pequeñas letras a las que podía luego hacer referencia en el texto. Dedicaba a sus grabados tanta atención como el propio Durero, lo que hacía que estudiantes residentes en los lugares más alejados se sintieran como testigos de excepción, porque la presentación de su libro seguía el mismo orden que las disecciones reales. Incluía también numerosas y detalladas ilustraciones de su instrumental, así como de diferentes partes del cuerpo en diversos grados de exposición. En sus imágenes más famosas aparecen gigantescos esqueletos atravesando bellos paisajes o lamentándose de la perspectiva de su propia muerte, pero Vesalius también representó, con una precisión sin precedentes, la divina estructura de nervios, venas, músculos y arterias. Con el lenguaje de un arquitecto renacentista, Vesalius describió de qué modo Dios había diseñado los cimientos y los muros del cuerpo humano; escribiendo como anatomista práctico, proporcionó instrucciones para el montaje de esqueletos cuyas piezas se habían separado al hervirlos para quitar la carne.

En sus campañas para la reforma de la medicina, la actitud de Vesalius fue como la de Martín Lutero, cuya rebelión contra la Iglesia Católica constituía el telón de fondo sobre el que se había desarrollado la infancia de Vesalius en el norte de Europa. De igual modo que Lutero se había rebelado contra la autoridad del papa para regresar a la Biblia original, Vesalius rechazaba las enseñanzas convencionales y hacía hincapié en la lectura del verdadero texto del cuerpo humano. Ya fuese en retablos o en diagramas anatómicos, ambos reformadores ponían especial énfasis en mostrar las maravillas de Dios en forma de imágenes. Mientras que uno regresaba al cristianismo primitivo, el otro resucitaba la anatomía clásica. A raíz de las innovaciones de Vesalius, los protestantes crearon carteles anatómicos y predicaron que uno podía acercarse a Dios mediante la comprensión de su diseño del cuerpo humano, el mismo mensaje que Vesalius transmitía en su portada de una disección idealizada, en la qué predicaba las bondades de la anatomía práctica para buscar la gloria de Dios en los sangrientos y hediondos confines de un cadáver humano no refrigerado.

Vesalius transformó la medicina de los libros con sus realistas imágenes y su defensa de que los médicos utilizasen sus manos para estudiar el cuerpo. Muchos médicos se opusieron a su desafío de la tradición, sosteniendo que el

valor de la autoridad secular de Galeno era superior al de sus recientes pruebas visuales. El objeto de estos debates del siglo XVI era si la verdad se encuentra en los libros o en los cuerpos. En contraste, los críticos modernos acusan a Vesalius de no ser siempre capaz de ver la verdad allá donde se encuentra, en el propio cuerpo. Vesalius, que pensaba como un fisiólogo galénico, se equivocaba en algunos detalles. Por ejemplo, sostenía que debía haber pequeños orificios en la pared que separa ambos lados del corazón, aunque no pudiese verlos. Como otros héroes científicos, Vesalius no provocó por sí solo una revolución teórica, sino que —y no es menos importante— cambió la actitud de las personas y fomentó un estilo de práctica médica más orientado al cuerpo.

Los sucesores de Vesalius modernizaron la anatomía en toda Europa, pero Padua siguió siendo la más importante de las escuelas médicas. Los políticos locales gestionaban la universidad como un negocio, contratando a los mejores profesores, que a su vez atraían a acaudalados estudiantes extranjeros. A finales del siglo XVI, Padua poseía un anfiteatro anatómico excepcionalmente equipado, iluminado por velas y con filas de asientos dispuestos en círculo alrededor de la mesa de disección en posición central, para que todos pudieran gozar de una buena visión. Como había hecho Vesalius cincuenta años antes, los profesores de anatomía exhortaban a sus estudiantes a mirar al pasado. Pero su héroe ya no era Galeno, sino Aristóteles, que enseñaba que el alma era una función del cuerpo. Los anatomistas de Padua estudiaban el cuerpo para aprender acerca del alma humana; para ellos, la disección era un proceso tanto espiritual como físico.

Este punto de vista aristotélico causó un profundo impacto en un joven estudiante inglés, William Harvey. Descontento con el bajo nivel de Cambridge, Harvey se trasladó a Padua durante un par de años, en donde tuvo como profesor a Girolamo Fabrici (Fabricius); de vuelta a Londres, rápidamente se alzó a la cúspide de la profesión médica. Con la importación a Inglaterra de los métodos de Padua, Harvey rechazaba ciertos aspectos del galenismo que Vesalius no había modificado. En la fisiología galénica hay dos sistemas sanguíneos: el hígado produce sangre para el suministro de alimento a través de las venas, mientras que el corazón calienta aire y lo mezcla con la sangre de las arterias. Para Aristóteles, el corazón era el lugar en el que residía el alma; Harvey sustituyó el modelo doble de Galeno por un sistema único, y estableció que el corazón hace circular continuamente la sangre por el cuerpo.

A Harvey le inquietaba la posibilidad de ser atacado por derrocar ideas que tenían siglos de antigüedad, de modo que experimentó con una amplia variedad de animales durante casi treinta años antes de publicar *De motu cordis* (Un estudio anatómico sobre la moción del corazón y de la sangre de los animales) en 1628. Aunque su aspecto no parecía demasiado revolucionario —era un panfleto delgado, escrito en un latín no muy correcto y con una impresión modesta—, supuso una completa reorganización del cuerpo humano. El maestro de Harvey, Fabricius, había heredado de Vesalius el énfasis por la observación minuciosa, y Harvey siguió el mandato del propio Galeno de observar por sí mismo. Fabricius ya había descubierto válvulas en las venas pero, con su visión sesgada por la teoría de Galeno, decidió que su misión era controlar el suministro de la sangre que transportaba alimento y que, partiendo del hígado, viajaba por las venas. Harvey reinterpretó las válvulas de Fabricius y las incorporó en su sistema unificado como minúsculas puertas unidireccionales que garantizaban el retorno de la sangre de las venas al corazón para volver a salir por las arterias.

Harvey se ha hecho célebre como un revolucionario de la ciencia, pero era en realidad un aristotélico que veía una unidad subyacente entre los movimientos circulares de los planetas en los cielos, del aire y la lluvia en el cielo y de la sangre en el cuerpo. Como él mismo decía, el corazón «merece ser considerado el punto inicial de la vida y el sol de nuestro microcosmos, tanto como el Sol merece ser llamado el corazón del mundo»[27]. Aunque actualmente es un héroe simbólico, la aceptación de las ideas de Harvey fue lenta y las críticas, numerosas. Los médicos tradicionales condenaron de inmediato sus modernas concepciones, que desprestigiaban sus expertas técnicas de sangría, y los pacientes de Harvey abandonaron a su médico pensando que se había desequilibrado, de modo que Harvey se retiró a investigar.

Harvey heredó de Fabricius otro proyecto aristotélico: la reproducción. A diferencia de la mayor parte de sus contemporáneos, Harvey rechazaba la idea de la generación espontánea, razonando que los organismos vivos no podían surgir de repente a partir de materia ordinaria. Siendo un entusiasta monárquico, Harvey tenía acceso al parque del rey, habitado por ciervos, en donde podía observar (e interrumpir) sus actividades sexuales para averiguar cómo se formaban los individuos. También estudió, literalmente, el problema del huevo y la gallina, llevando a cabo minuciosos experimentos que le llevaron a la conclusión de que todo empieza por el huevo. En opinión de Harvey, un poder de activación presente en el semen de los machos da lugar a

que un material germinal presente en los óvulos empiece a desarrollarse siguiendo un patrón preestablecido. Sus oponentes, los preformacionistas, sostenían que el nuevo organismo está ya totalmente formado y existe en su nacimiento en uno de los padres (en el esperma o en el óvulo), un escenario a modo de muñecas rusas que implicaba que toda la población del mundo había sido creada previamente por Dios. A pesar de la sensatez de las conclusiones de Harvey, la generación espontánea y la preformación siguieron debatiéndose seriamente entre los científicos hasta finales del siglo XIX.

Aceptando las convenciones de género de sus colegas, Harvey veía a las mujeres como receptoras pasivas en el proceso de la concepción, y perpetuó las viejas creencias que atribuían numerosas enfermedades a los vientres de estas, a las que se atribuía la responsabilidad de afecciones tanto físicas como mentales (la palabra «histeria» procede del vocablo griego que significa «matriz»). Según los conceptos aristotélicos dominantes, las mujeres eran inferiores al hombre como pensadoras, estaban gobernadas por humores fríos y húmedos y se veían forzadas a librarse del exceso de fluidos mediante la sucia sangre menstrual. En cambio, los hombres eran seres cálidos, secos y racionales, cuyas acciones estaban dominadas por su cerebro.

Las actitudes cambiaron de forma muy lenta. Algo que resulta desconcertante para las feministas modernas, las mujeres también creían que sus blandos cerebros les impedían ser matemáticas o poetas, y las madres solían aconsejar a sus hijas que asumieran la superior inteligencia de los hombres. El cambio de la opinión de los médicos se inició en la década de 1660, cuando un hábil anatomista llamado Thomas Willis presentó la subversiva noción de que las mujeres, igual que los hombres, estaban dominadas por sus cerebros. Incluso utilizó sus disecciones para mostrar que no existían diferencias sustanciales entre los cerebros masculino y femenino. La discriminación prosiguió, pero ya no estaba apoyada por argumentos aristotélicos.

Willis era un ferviente admirador del anciano Harvey; a mediados del siglo XVII ambos vivían en Oxford, ciudad de capital importancia en ciencia debido a que solía atraer a muchos experimentadores radicales. Las razones de que se encontraran allí fueron tanto políticas como académicas. Después de que los rebeldes parlamentarios obligaran a Carlos I a dejar Londres en 1642, Oxford se convirtió en la principal base de operaciones de los monárquicos hasta la restauración en el trono de Carlos II en 1660. Para los filósofos naturales, las lealtades eran tan esenciales como para los diplomáticos, y las vidas de Willis y de otras figuras célebres están sembradas

de períodos oscuros en los que desaparecían, quizá en otros países, hasta que juzgaban que podían regresar con seguridad. Con buena visión estratégica, Harvey dedicó su libro en circulación a Carlos I; en él describía al rey como «el sol de su microcosmos, el corazón del estado; de él surgen todos los poderes y emana toda la gracia»[28]. —una influyente imagen del Sol/rey/corazón situado en el centro del Universo/nación/cuerpo que hizo fortuna durante los doscientos años siguientes—.

Algunos de los supervivientes de las luchas políticas que trabajaron en Oxford se convirtieron en célebres pioneros de la ciencia, como el químico Robert Boyle, el arquitecto Christopher Wren, el reformador naval William Petty y el asistente de Willis, el inventor Robert Hooke. El propio Willis había empezado siendo un médico monárquico de extrema pobreza, y empezó a ser conocido después de salvar a una mujer ahorcada de la mesa del anatomista y devolverla a la vida. Con la ampliación de los estudios de ciencias en la universidad, Willis formó parte del círculo de jóvenes y entusiastas experimentadores, la generación posterior a la de Harvey, que trajo ideas nuevas a la medicina a través de la exploración práctica en lugar de la lectura. Aprendían unos de otros, con el intercambio de información acerca de sus investigaciones sobre una extraordinaria variedad de temas, como la transfusión de sangre, la transformación alquímica, la predicción del tiempo atmosférico, la germinación del trigo, la mejora de los microscopios y la variación magnética.

Con frecuencia se afirma que los miembros de este grupo de Oxford sentaron las bases de la ciencia moderna. Estos científicos debían mucho a Harvey, el médico real que situó a la monarquía inglesa en el centro del cuerpo humano y alentó a sus discípulos a observar con sus propios ojos y experimentar con sus propias manos. No deja de ser irónico que sus sucesores reformasen la medicina mediante su apoyo a tendencias generadas en Francia a las que Harvey se resistía: las teorías atómicas del filósofo francés René Descartes, uno de los primeros conversos a la idea de la circulación de la sangre. Harvey se ha hecho famoso como reformador radical, pero en realidad era un tradicionalista de la vieja escuela que, según el chismoso John Aubrey, «me sugirió que fuese a los orígenes y leyese a Aristóteles… y llamaba “calzones sucios” a los neotéricos [filósofos advenedizos]»[29].

5 - Máquinas

> Una máquina evoluciona haciéndose más eficiente, es decir, más a prueba de necios; así, el objetivo del progreso mecánico es un mundo a prueba de necios, lo que puede o no significar un mundo habitado por necios.
>
> George Orwell, *El camino de Wigan Pier* (1937)

Cuando Copérnico y Vesalius se rebelaron contra sus antecesores, volvieron a los griegos y los romanos. Un siglo más tarde, René Descartes quiso hacer una limpieza aún más profunda. Su táctica era dudar de todo, destruir la fortaleza de conocimientos existente para construir de forma sistemática un paradigma totalmente nuevo a partir de cimientos sólidos y ciertos. En lugar de establecer analogías orgánicas entre un cuerpo sano y un cosmos perfecto, Descartes utilizó la terminología mecánica de bolas de billar, torbellinos y tornillos. Mientras que para Harvey, el corazón humano era el sol del microcosmos del hombre, para Descartes —que pasó un invierno entero diseccionando órganos de buey que adquiría al carnicero local — los corazones eran bombas que impulsaban máquinas vivas, y nuestro Sistema Solar, uno más de entre un colosal número de universos de relojería.

Descartes creía, como su contemporáneo de más edad Galileo, que el Libro de la Naturaleza estaba escrito en el lenguaje de las matemáticas, e introdujo un sistema geométrico que aún lleva su nombre, las coordenadas cartesianas. La intención de ambos era incorporar las matemáticas prácticas en las teorías filosóficas sobre el mundo, para unir así las habilidades de los artesanos y de los intelectuales. Descartes es famoso por ser un pensador solitario, un erudito que se retiraba a una habitación con exceso de calefacción para soñar acerca de la realidad de su propia existencia, y que acuñó el lema filosófico más famoso de la historia: *Pienso, luego existo*. Sin embargo, como los científicos modernos, también se enfrentó al mundo real: efectuaba experimentos y analizaba los fenómenos cotidianos como la luz y el tiempo atmosférico.

Igual que los científicos del siglo XX comparaban el cerebro con una centralita telefónica y, más adelante, con un ordenador, Descartes también hacía referencia a su propia tecnología contemporánea: los muelles. Los relojes se habían introducido a finales del siglo XIII para señalar los rituales religiosos, pero su papel se había integrado cada vez más en la vida diaria hasta llegar a adquirir un rol esencial en la floreciente economía capitalista (véase «Intelecto» en el capítulo 2). En la época de Descartes, la medida artificial, no solar, del tiempo se había hecho habitual, y las mejoras tecnológicas habían incrementado su precisión. El tiempo se había convertido en dinero: los comerciantes invertían en productos baratos —especias, tela, grano— que almacenaban para poder manipular el mercado y vender más adelante para obtener un beneficio. Así mismo, los experimentadores intentaban engañar al tiempo mediante la conservación de especímenes anatómicos o la recolección de curiosidades en museos para una demanda futura, como si fuesen artículos comerciales.

Las imágenes de mecanismos de relojería dominaron el pensamiento filosófico durante el siglo XVII. En uno de los mitos sobre la fundación de la ciencia, Galileo, distraído durante un servicio religioso, utilizó su pulso para cronometrar el vaivén de una lámpara; descubrió así una regularidad que incorporó, no solo en una ley de la física, sino en su propio diseño de un reloj de péndulo. Los artesanos creaban elaborados relojes con intrincados mecanismos para que los clientes ricos pudiesen exhibirlos como costosos ornamentos. Estos relojes eran modelos del cosmos; con frecuencia disponían de cuatro esferas para mostrar información astronómica, como los movimientos de los planetas. Esta metáfora mecánica actuaba en las dos direcciones: se afirmaba que el propio cosmos era como un reloj, con un mecanismo oculto cuyo suave funcionamiento producía un movimiento circular.

Aunque cada filósofo natural poseía ideas propias acerca del funcionamiento de este Universo de relojería, todos ellos estaban de acuerdo en que, igual que una máquina, este cosmos mecánico debía tener un diseñador: Dios. En la versión de Descartes, Dios creó primero la materia y luego le imprimió movimiento para después retirarse y dejar que el Universo funcionase automáticamente por sí solo. Los cristianos devotos rechazaban este esquema que reducía el papel de Dios en su propio Universo, y quedaron aún más consternados cuando Descartes afirmó que incluso las criaturas vivas podían explicarse mecánicamente. Descartes se justificaba mediante un

argumento de analogía, señalando que, aunque los relojes han sido creados por la mano del hombre, se mueven por sí solos.

Aunque la finalidad de Descartes era reformar la filosofía, sus publicaciones fueron cautelosas y esporádicas. Consciente de la condena a Galileo, estaba decidido a evitar controversias y a mantener la soledad y la tranquilidad a las que tanto valor concedía. Descartes, nacido en Francia, había sido jesuita y, tras varios años de deambular por el norte de Europa y alistarse en diversos ejércitos, empezó a investigar poco después de cumplir los veinte años. Con una herencia que le permitía mantener su frugal estilo de vida, Descartes pasó mucho tiempo en Holanda, llevando a cabo experimentos, leyendo, escribiendo y publicando algunas de las conclusiones a las que llegaba. Finalmente, en 1644, después de más de treinta años dedicados a la reflexión y de varios proyectos inacabados, Descartes publicó cuatro de las seis partes que tenía planificadas para sus *Principia Philosophice* (*Principios de filosofía*).

Pensados como recopilación exhaustiva de sus ideas, en los *Principia* de Descartes se presentaba la primera versión mecánica del cosmos. ¿Qué es la materia, se preguntaba Descartes? Sin confiar siquiera en la evidencia de sus propios sentidos, Descartes llegaba a la conclusión de que el único dato incontrovertible que se puede decir sobre la materia es que ocupa un lugar en el espacio (o, más formalmente, que posee extensión): la materia es espacio, así que todo está lleno de materia. Rechazando el viejo universo de espacios vacíos, simpatías planetarias y poderes de atracción, Descartes concibió un cosmos lleno en el que la materia solo podía moverse si se la empujaba o se tiraba de ella. Dividía la materia en tres tipos. El grosero tercer tipo o *materia tercera* es aquello que podemos ver y sentir, mientras que lo que percibimos como espacio vacío está lleno de suaves e invisibles partículas de *materia segunda*, y los espacios entre estas partículas están llenos de materia superfina del primer tipo o *materia primera*.

Por extraño que pueda parecer el cosmos cartesiano, explicaba la estructura del sistema solar, con sus planetas orbitantes, y sus principios básicos se convirtieron en ortodoxia científica, especialmente en Francia. Como se ilustra en la Figura 18**[f18]**, la materia gira en grandes remolinos o vórtices, de modo que el cosmos está lleno de torbellinos celestiales formados después de que Dios pusiese el sistema en movimiento. En el núcleo de cada torbellino se halla un sol de materia primera, condensado mecánicamente y rodeado de materia segunda en rotación que arrastra grandes fragmentos de materia tercera: los planetas. La frenética actividad en los soles centrales

envía ondas a través de la materia segunda para producir luz y calor. En este diagrama se muestra también de qué modo un pequeño pedazo de materia segunda —un cometa— puede evitar ser arrastrado hacia un vórtice y serpentear, en cambio, de un universo al siguiente.

En su nuevo diseño del cosmos Descartes redujo la importancia de los seres humanos, abriendo la posibilidad de la existencia de vida en otros lugares. El concepto de múltiples universos era singular y nuevo, pero a mediados del siglo XVIII muchos filósofos naturales creían no solo en su existencia, sino también en que eran la morada de seres inteligentes. Aunque Descartes no se definió acerca del aspecto de estos habitantes de otros mundos, sus partidarios solían suponer que eran iguales a los humanos o bien que estaban situados en algún lugar superior de una cadena espiritual hacia Dios, Astrónomos entusiastas construyeron gigantescos telescopios, pero no fueron capaces de detectar señales concluyentes de vida ni siquiera en la Luna, nuestro vecino más próximo. A falta de pruebas incontestables, la vida extraterrestre hizo surgir apasionadas posturas en ambos bandos.

Estas disputas sobre la «pluralidad de mundos» se libraban principalmente en el terreno teológico. Lejos de estar limitadas a pedantes intelectuales, el público mostraba un gran interés por ellas y se comentaban en púlpitos, reuniones festivas y libros populares. El dilema principal siguió siendo el mismo durante más de cien años. Por un lado, un número infinito de mundos confirmaría la magnificencia de Dios, y quizá ofrecería un hogar para los pecadores después de la muerte. La vida extraterrestre haría asímismo que el cosmos fuese agradablemente uniforme, e incrementaría el número de criaturas que adoran a Dios. Por otra parte, que nuestra Tierra fuese solo una de muchas provocarían cuestiones espinosas acerca de la unicidad de Cristo. Era difícil reconciliar la existencia de muchos mundos habitados con el principio fundamental del cristianismo, que Dios eligió a la raza humana para dedicarle su especial atención.

Aparte de rediseñar el cosmos, Descartes cambió también lo que sucede en la Tierra. Para derrocar las arcanas teorías de misteriosos poderes invisibles, insistía en su punto de vista mecánico. En el universo de Descartes, los objetos solo se mueven si se les empuja o se tira de ellos directamente. Como bolas en una mesa de billar, las partículas obedecen leyes mecánicas simples. Aunque se las ingenió para ofrecer explicaciones de muchos fenómenos —calor, luz, tiempo atmosférico—, decidió abordar el magnetismo, un caso excepcionalmente complicado, ya que implica movimiento sin una causa evidente. La explicación vigente la había ofrecido

en 1600 William Gilbert, que sugirió que la Tierra era un inmenso imán que se comportaba como un ser vivo con alma. Para refutar la cosmología magnética de Gilbert, con sus fuerzas ocultas inexplicadas, Descartes ofreció un elaborado y extravagante esquema mecánico que, sin embargo, se convirtió en el vehículo de la cosmología cartesiana y sobrevivió durante más de un siglo.

El magnetismo, afirmaba Descartes, se debe al movimiento de minúsculas partículas de materia primera que se introducen por estrechos canales dentro de los materiales magnéticos. Como pequeños tornillos, cada partícula está roscada en una de dos posibles direcciones, de forma que solo puede entrar en un pasaje que tenga las ranuras internas correspondientes. Un flujo de estos corpúsculos se desplaza constantemente del Sol hacia la Tierra, viajando a través de los caminos apropiados; y, al dar media vuelta para repetir el circuito, se acumulan en los imanes que se encuentran, ya que les resulta más fácil penetrar en ellos que en el aire, que carece de poros. Al salir de dos imanes adyacentes los empujan para separarlos; la atracción parece darse cuando las partículas empujan los imanes desde atrás para unirlos. Por artificiosa que pueda parecer esta explicación, funcionaba —en cierta medida —, y pasaría mucho tiempo antes de que alguien sugiriera algo mejor.

Descartes indignó a los aristotélicos al eliminar el alma magnética del Universo. Pero lo que más hostilidad provocó fue su separación entre el alma humana y el cuerpo, su conclusión de que había una especie de Descartes mental —llámese mente, alma o conciencia— que existía independientemente de su cuerpo. Descartes presentaba a los seres orgánicos como máquinas vivas en las que las funciones como la digestión, la respiración y la excitación sexual se presentan «simplemente por la disposición de los órganos, de forma tan natural como los movimientos de un reloj o de otro mecanismo siguen la disposición de sus contrapesos y engranajes»[30]. Aún mayor fue la controversia suscitada por su opinión de que el sistema nervioso funciona también mecánicamente, de modo que la memoria y las acciones deliberadas respondían asímismo a su modelo de relojería. Descartes declaró que los animales son máquinas sin alma, una afirmación que horrorizó a sus críticos.

Poco le faltó a Descartes para sugerir que los propios humanos eran mecanismos puramente automáticos. En un experimento mental con un autómata imaginario, Descartes exponía que su comportamiento no podía nunca imitar de forma perfecta el de una persona, que debe ser capaz de enfrentarse a situaciones imposibles de concebir por adelantado. En su visión de la vida, las personas se diferencian tanto de las máquinas como de los

animales por su capacidad de hablar, razonar y tomar decisiones relativas a la moral. Para Descartes, el lenguaje era un rasgo característico único que distinguía a los seres humanos, y aún lo sigue siendo en nuestros días para los antievolucionistas y los filósofos que son incapaces de aceptar las pruebas, cada vez más abundantes, de comunicación animal.

Al conservar el alma humana, Descartes daba cabida a la creencia cristiana de que la vida prosigue después de la muerte. Pero para ello tuvo que hacer frente a colosales objeciones. La más urgente consistía en explicar cómo una mente inmaterial podía interactuar con un cuerpo compuesto de materia, cómo es posible escribir un pensamientos cómo, al mirar por la ventana, se genera el convencimiento de que está lloviendo. Este problema era, como Descartes admitía sin mucho vigor, «muy difícil», y nunca se le ocurrió una respuesta satisfactoria[31]. Finalmente acabó por decidir que la glándula pineal, oculta en el interior del cerebro, era el lugar en el que el alma procesa los datos físicos, como si se tratase de una persona en miniatura que observa con indiferencia en una pantalla cómo actúan las sensaciones del cuerpo. En el sistema dual de Descartes hay una extraña diferencia entre lo que le dictaba la experiencia —que poseía un cuerpo físico— y lo que afirmaba haber averiguado mediante la lógica —que su persona, en esencia, era una mente espiritual—. Aunque nunca fue capaz de relacionar satisfactoriamente estos dos aspectos, la importancia de su visión maquinista de los cuerpos vivos y sensibles se mantuvo hasta bien entrado el siglo XIX.

Paradójicamente, el éxito de los modelos matemáticos se debió a que ofrecían un camino para conservar a Dios en el Universo. Aunque muchos filósofos naturales recibieron con los brazos abiertos la forma en que Descartes desterró las fuerzas ocultas y los elementos aristotélicos, sus opositores se enfrentaron a él por haber hecho posible el razonamiento de que el Universo está compuesto en su totalidad de materia, lo que eliminaría del mundo la espiritualidad divina. Ni siquiera el propio Descartes adoptó esta posición tan extrema, pero sí lo hicieron algunos de sus sucesores. Para impedir la propagación de herejías ateas, los filósofos cristianos revisaron las ideas originales de Descartes y concibieron universos de funcionamiento mecánico pero que, de todos modos, garantizaban la existencia de Dios.

Uno de los más influyentes fue Robert Boyle, un acaudalado aristócrata que pertenecía al grupo de experimentadores surgido en el siglo XVII en Oxford, si bien Boyle se trasladó más adelante a Londres. Aunque actualmente su nombre se asocia a la ley química que describe el comportamiento de los gases, Boyle era también teólogo y estaba convencido

de que lo único que daba sentido a la práctica de la filosofía natural era la demostración del esplendor y la sabiduría de Dios. Boyle se inclinaba por las explicaciones sencillas, de modo que optó por un Universo compuesto de pequeños corpúsculos. Cuando un grupo de corpúsculos se mueve, explicaba, se obtiene calor; al extraer los corpúsculos de un frasco, se obtiene vacío; cuando los corpúsculos agudos interfieren, se obtiene la violenta acción de un ácido.

Lo más importante, razonaba Boyle: es que un cosmos mecánico que funciona independientemente es una demostración del ingenio de Dios, de modo que es igualmente posible estudiar al Gran Diseñador en Su Libro de la Naturaleza como enfrascándose en la lectura de Su Biblia. En palabras de Boyle, «la sabiduría de Dios se manifiesta en mayor medida en el tejido del universo, ya que ha creado una máquina de tal magnitud y capaz de efectuar tantas acciones, como Él designó que así fuera, por el simple artificio de dotar a la materia bruta de ciertas leyes de movimiento local, y que se mantiene por Su mera presencia»[32]. Se trata de uno de los primeros ejemplos de teología natural, y se apoya en el argumento del diseño. Al contemplar un reloj, se sabe que fue un artesano quien lo creó. Del mismo modo, el universo mecánico, con sus invisibles mecanismos de relojería, debe haber sido creado por Dios.

Los teólogos naturales siguieron utilizando argumentos de diseño para demostrar la existencia de Dios hasta el siglo XIX. Por ejemplo, cuando Charles Darwin presentó su polémica teoría de la evolución, los teólogos naturales objetaron que era imposible que órganos tan complejos como el ojo humano fueran consecuencia de hechos aleatorios, sino que debían haber sido diseñados por Dios. Igual que sus sucesores, los partidarios del Diseño inteligente, los teólogos naturales tuvieron grandes dificultades para explicar por qué Dios permitía entonces la miopía o las cataratas.

6 - Instrumentos

La belleza de las ecuaciones es más importante que su ajuste a los experimentos.

Paul Dirac, *Scientific American* (1963)

Actualmente, la aviación ha convertido el océano Atlántico en un estanque, pero en el siglo XVI era como un nuevo y amplificado Mediterráneo, un transitado mar que unía las tierras que lo rodeaban mediante barcos que transportaban mercancías y colonos de un extremo a otro. Sin embargo, otro producto de gran importancia también estaba transportándose en todas direcciones: conocimientos. Francis Bacon, un abogado y político de renombre, se convirtió en el principal heraldo del progreso en Europa a través de la exploración y la experimentación. Los más reaccionarios, que seguían convencidos de que la Grecia clásica representaba la cúspide de la cultura, optaron por un cosmos estable como el descrito en la Biblia. Los reformadores, convencidos de que podían cambiar el mundo para crear un futuro mejor, adoptaron a Bacon como santo patrón y se embarcaron en una serie de viajes intelectuales para explorar el Universo.

El principal manifiesto sobre la investigación científica de Bacon fue su *Novum Organum* (*El nuevo Organon*), concebido para acabar con el *Organon* de Aristóteles y reemplazar la lógica pasada de moda por la investigación experimental que Bacon propugnaba. En su portada, que se muestra en la Figura 19**[f19]**, dos navíos comerciales, dos buques del conocimiento, atravesaban las míticas columnas de Hércules que separan ambas orillas del estrecho de Gibraltar, portal entre el Atlántico y el Mediterráneo. «Muchos viajarán y crecerá el conocimiento», dice la cita bíblica que rodea las bases de las columnas. Bacon instaba a los reformadores a dejar atrás la seguridad del saber clásico del Mediterráneo, proclamando que «sería una desgracia para los seres humanos… limitar el mapa del intelecto a los descubrimientos y angostas fronteras de los antiguos»**[33]**. Del mismo modo que los comerciantes obtenían beneficios con el transporte de mercancías, Europa prosperaría recogiendo información sobre la naturaleza para luego recopilarla, imprimirla

y comercializarla en todas las naciones. La experimentación, aseguraba Bacon, transformaría los descubrimientos en conocimiento y crearía un utópico Nuevo Mundo.

A Bacon se le suele atribuir la fundación de la ciencia moderna; sin embargo, a pesar de que estaba al tanto de las actividades de sus colegas, se le daba mejor efectuar recomendaciones que llevar a cabo sus propias investigaciones. El anatomista William Harvey comentó mordazmente, quizá para vengarse de los cáusticos comentarios de Bacon sobre su obra, que tenía los ojos de una víbora y que escribía filosofía como un ministro. Pero, pensaran lo que pensasen sus contemporáneos, la realidad es que sus opiniones hicieron sentir en gran medida su influencia en la investigación científica en toda Europa. Bacon, que había sido cortesano y lord canciller, acuñó un eslogan ideal para convertir a los que dudaban: «El conocimiento es poder». Dos siglos más tarde, esta máxima se seguía esgrimiendo para solicitar subvenciones para investigación científica al gobierno.

Bacon planteó un programa de experimentación; defendía que la única forma de desvelar las leyes de la naturaleza era recopilar y organizar grandes cantidades de datos. A diferencia de Descartes, que planteaba la experimentación hacia fuera, partiendo de la certidumbre de su mente, Bacon era partidario de un enfoque inductivo, de abajo arriba: es decir, inferir explicaciones a partir de observaciones no contaminadas por ideas teóricas preconcebidas. Esta tarea debía basarse en la cooperación, la comunicación y el apoyo económico de los estados. Bacon concibió una comunidad insular utópica dedicada a investigar la forma de dominar los poderes de la naturaleza en beneficio de la sociedad. Aunque sin entrar en detalles concretos, Bacon reconocía que las buenas observaciones precisaban instrumentos de calidad, e imaginaba equipos de investigadores recogiendo información en proyectos independientes, como refrigeración, metalurgia y agricultura. En su esquema jerárquico, modestos recolectores de datos acumularían información que sus líderes —una élite de filósofos naturales— procesarían para convertirlos en conocimientos científicos.

Los filósofos baconianos adoptaron los instrumentos de los que disponían y los hicieron más precisos, pero no modificaron su diseño básico. Hasta principios del siglo XIX, ni siquiera se hablaba de «instrumento científico» como si fuera una clase de objetos. Los constructores de instrumentos dividían sus productos en tres grupos: matemáticos, físicos y filosóficos. Los más antiguos eran los elementos de medida fundamentales para las actividades cotidianas: pesar alimentos, medir terrenos, navegar según las

estrellas, valorar metales preciosos, saber la hora o preparar remedios con hierbas. Estas herramientas matemáticas, fabricadas por artesanos, se habían desarrollado para obtener información práctica. Tradicionalmente, los ópticos se habían centrado en la elaboración de gafas de lectura y telescopios náuticos pero, en respuesta a las demandas de los experimentadores, durante el siglo XVII ampliaron su campo y empezaron a incluir microscopios y telescopios astronómicos. Con su alto grado de ampliación y el cristal de gran calidad, estos instrumentos revelaron detalles del mundo natural nunca vistos hasta ese momento. Los últimos instrumentos desarrollados fueron los filosóficos: barómetros, termómetros, máquinas eléctricas y bombas de vacío, inventados por los filósofos naturales y que ellos mismos utilizaban.

Estos tres tipos de instrumentos aparecen exhibidos como accesorios de decoración en un elegante salón londinense, en la Figura 20**[f20]**. A la derecha de la ventana se muestra un cuadrante de tránsito —utilizado para seguir el recorrido del Sol e ideado originalmente por navegantes—, así como un telescopio astronómico adaptado para su uso en tierra, en lugar de en el mar. Sobre la mesa de la parte posterior se muestra una bomba de vacío, un globo de cristal que se puede vaciar de aire mediante un dispositivo de bombeo, una nueva y polémica invención efectuada por los discípulos de Bacon en el siglo XVII. Los primeros filósofos experimentales consultaban con los artesanos en busca de orientación. Uno de los más famosos contemporáneos de Bacon era el médico de Isabel I, William Gilbert, actualmente famoso como uno de los primeros científicos, y célebre en aquel tiempo por haber mejorado la brújula y, en consecuencia, la navegación. Cuando empezó a investigar el magnetismo, Gilbert no buscó la ayuda de sus colegas intelectuales, sino de la comunidad marítima. Aunque los navegantes isabelinos escribían en inglés, no en el culto latín, sus libros estaban repletos de instrucciones técnicas, geometría euclídea y comentarios acerca del comportamiento del magnetismo de la Tierra. Algunas de las ideas e instrumentos de Gilbert, lejos de ser originales, eran versiones elaboradas de los que había visto en un libro escrito por un constructor de brújulas hacía veinte años.

Los artesanos mecánicos proporcionaban a los filósofos mecánicos los instrumentos y los conocimientos. El ejemplo más significativo es el de Robert Hooke, un ingenioso experimentador que trabajó en Oxford junto a Christopher Wren y Robert Boyle antes de trasladarse a Londres, en donde trabajó, entre otros proyectos, en la reconstrucción de la ciudad tras el gran incendio de 1666. Según Hooke, como el funcionamiento del cosmos es

mecánico, las máquinas son esenciales para desvelar sus mecanismos internos. Hooke adaptó dispositivos ya existentes que utilizaban los artesanos y produjo una asombrosa variedad de nuevos aparatos para filósofos naturales: relojes, medidores de profundidad por sonido, higrómetros, microscopios, bombas de vacío, balanzas, lámparas y cuadrantes. Para él, la importancia de los instrumentos era doble, ya que no solo medían el mundo natural, sino que también representaban la única forma en que las personas podían comprenderlo.

Los precisos instrumentos de Hooke demostraron ser importantes para la ciencia, pero él les daba una justificación teológica. Como Bacon y muchos de sus contemporáneos, Hooke consideraba que los seres humanos eran criaturas falibles y malditas desde la expulsión del Jardín del Edén, con sentidos imperfectos y mentes cargadas de prejuicios. Para percibir el mundo tal como es, sostenía, necesitamos ayudas artificiales que nos permitan evitar el cerebro e impedir las distorsiones de la mente. Su nuevo microscopio iba a facilitar el trabajo; todo lo que el filósofo imperfecto debía hacer era «dibujar, examinar y registrar, *con mano sincera y ojo fiel*, las cosas tal como aparecen»[34]. En *Micrographia*, Hooke mostraba los sensacionales resultados que se podían obtener.

Micrographia es una espléndida colección de minuciosos dibujos en los que se exponen detalles que nunca antes se habían imaginado de plantas e insectos —en particular de piojos, esos cuasiinvisibles pero perpetuos compañeros de los caballeros del siglo VXII—. Cuando Samuel Pepys adquirió su ejemplar se quedó despierto toda la noche, cautivado por las gigantescas imágenes en páginas desplegables y las elocuentes descripciones de Hooke. Hooke escribía en inglés, no en latín, e insistía en que sus lectores aprendiesen acerca de Dios estudiando su Libro de la Naturaleza. Empezaba, sorprendentemente, por revelar los bordes irregulares de las cuchillas y de los puntos impresos, elementos creados por el hombre a los que comparaba con la «fuerza y belleza» de las pulgas creadas por Dios, que están «ornadas en su totalidad por una curiosamente brillante armadura azabache, de juntas limpias y dotada de una multitud de afiladas puntas, de forma parecida a las púas de un puerco espín o a brillantes saetas de ballesta de acero»[35].

Mientras que los instrumentos matemáticos de Hooke servían para medir el mundo, sus instrumentos ópticos modificaban su aspecto habitual. En cambio, los instrumentos filosóficos, como las bombas de vacío, modificaban el propio mundo. Los primeros modelos funcionales de bomba de vacío los construyeron Hooke y Boyle en la década de 1650 (aunque Boyle se llevó la

gloria); un siglo más tarde se habían convertido en símbolos del poder de la investigación científica. En la celebérrima imagen de Joseph Wright de Derby que se ha reproducido sin demasiados escrúpulos en portadas de libros y tarjetas de felicitación, se representa una habitación oscura, iluminada únicamente por un recipiente que brilla y que contiene una calavera humana y dominada por un filósofo natural con aspecto de mago. Su mano descansa sobre la llave de paso del globo de cristal y sus espectadores, horrorizados y fascinados a un tiempo, se dan cuenta de que el destino de la rara cacatúa blanca encerrada en su interior depende de la decisión del filósofo.

Sin embargo, la bomba de vacío no tuvo un éxito inmediato. Por un lado, las fugas demostraron ser un grave problema técnico, lo que facilitaba que los críticos acusasen a Hooke y Boyle de no haber producido en absoluto el vacío. Estaban en juego cuestiones teóricas de naturaleza fundamental. Según la ortodoxia cartesiana, las partículas siempre debían estar en contacto con otras partículas, por lo que en principio sería imposible extraer toda la materia sutil de un globo. Además, los experimentos de vacío provocaban nuevos y perversos tipos de discusión. ¿Cómo se puede averiguar nada acerca de la naturaleza estudiando un estado que no es natural? En el interior de los globos evacuados de aire, de aspecto tan ordinario, los animales morían, las velas chisporroteaban y los timbres dejaban de oírse. Los filósofos mecánicos escépticos demandaban pruebas directas de las ruedas y engranajes que movían las manecillas del mecanismo de relojería del Universo, no inferencias basadas en la ausencia.

Boyle sostenía que, aunque la bomba de vacío proporcionaba una situación artificial, inventada por los experimentadores humanos, seguía ofreciendo información válida acerca del mundo natural de Dios. Según la tradición, los filósofos naturales basaban su trabajo en el razonamiento, que empleaban para idear teorías sobre los sucesos naturales. Boyle, Hooke y otros seguidores de Bacon pretendían invertir la dirección de la lógica, empezando con la observación de fenómenos para luego pasar a la explicación del funcionamiento del Universo. En su *ethos* experimental, los instrumentos acabarían con el dogmatismo teórico mediante el establecimiento de hechos fiables. Con el invento de estas nuevas herramientas de investigación habían creado nuevos conocimientos: los muelles se estiran regularmente (*ley de Hooke*), las moscas tienen ojos multifacetados, el sonido necesita un medio para propagarse. El desarrollo de las explicaciones vendría más adelante.

Igual que los libros, los instrumentos podían transportar información de un lugar a otro ya que (en principio) el mismo experimento debía generar siempre los mismos resultados. Los instrumentos servían para mostrar o demostrar a las personas la existencia de determinados fenómenos naturales. Pero el sentido de «demostrar» era más amplio: verificar una teoría. Cuando Isaac Newton utilizó un prisma para crear un arco iris, no estaba intentando mostrar un efecto novedoso —los aristócratas y sus sirvientes ya sabían lo que pasaba con la luz de las velas y las arañas de cristal—, sino demostrar la validez de su propia explicación. Newton compró unos cuantos prismas baratos en mercadillos y los convirtió en instrumentos ópticos para demostrar que tenía razón.

Su intención, afirmaba, era llevar a cabo un experimento crucial que serviría para decidir de forma conclusiva si su teoría era cierta o lo era la teoría rival de Descartes. Según Descartes, el color de los objetos se debe a que estos modifican la luz que pasa a través de ellos. Newton pretendía divulgar su propia idea: que todo el espectro de colores del arco iris se encuentra ya en la luz del Sol. En su tosco boceto (Figura 21**[f21]**), la luz del Sol entra por el lado derecho a través de una pequeña rendija en la persiana. Enfocándola mediante una lente, pasa por el prisma de la mesa de forma que los rayos de diferentes colores se dispersan y se proyectan sobre una pantalla perforada. El paso fundamental es el siguiente: un rayo de color pasa por la pantalla hacia un segundo prisma, pero se proyecta sobre la pared sin cambio alguno, confirmando de este modo la afirmación de Newton de que el origen de los colores se halla en la luz, no en el vidrio.

Bacon llamaba a estos cruciales experimentos *indicadores* que señalan en la dirección de la verdad. Esta contundente simplicidad es, con frecuencia, engañosa: aunque «ver es creer», no siempre se debe creer lo que se ve. Los científicos afirman que, puesto que los experimentos revelan hechos reales, cualquiera puede repetirlos. Sin embargo, Newton había ocultado tantos detalles importantes sobre sus prismas que los críticos solo pudieron obtener resultados ambiguos, y seguían disputando los de Newton setenta años más tarde. Newton pretendía que sus experimentos fuesen tan incontestables como sus demostraciones matemáticas, e intentaba construir instrumentos que fuesen tan convincentes como las fórmulas y los argumentos retóricos. El antagonismo de sus oponentes y la imposibilidad de llegar a un acuerdo hacían que, a veces, tuviese ganas de abandonar. «La filosofía», protestaba Newton durante una injuriosa discusión con Hooke, «es una dama impertinente y litigiosa»**[36]**.

7 - Gravedad

Newton está, sin embargo, más en error que en lo cierto, pero yo creo la PALABRA de DIOS…
Pues el HOMBRE en el VACÍO no es más que una vana, ridícula locura.

Christopher Smart, *Jubilate Agno* (1758-1763)

Las manzanas son una fruta habitual en la mitología. En *Don Juan*, George Byron relacionaba la inspiración de Newton en un huerto de Lincolnshire con la tentación de Adán en el Jardín del Edén:

Cuando Newton vio caer una manzana, descubrió
en aquel leve sobresalto que le sacó de su contemplación…
una forma de probar la rotación terrena
en un remolino del todo natural, llamado «gravitación»;
y así, desde Adán, ha sido el primer mortal
que salió bien librado de una caída o de una manzana.[37]

Newton dio origen a esta celebérrima anécdota poco antes de su muerte, mientras tomaba el té con un joven amigo, que relató que

La idea de gravitación… la provocó la caída de una manzana mientras [Newton] estaba sentado en actitud contemplativa. «¿Por qué la manzana desciende siempre de forma perpendicular al suelo?», —se preguntó—. «¿Por qué no se mueve hacia el lado o hacia arriba, sino constantemente hacia el centro de la Tierra? Sin duda se debe a que la Tierra la atrae… existe una fuerza, como la que aquí llamamos gravedad, que se extiende por todo el universo»[38].

Más que cualquier otro mito científico, la caída de la manzana de Newton fomenta el concepto romántico de que los grandes genios efectúan sus descubrimientos transcendentales de repente y en soledad. Su libro sobre mecánica y gravedad, publicado por primera vez en 1687, se ha convertido en el símbolo del nacimiento de la ciencia matemática. Especialmente a partir de la segunda guerra mundial, ha sido aclamado como una especie de Biblia intelectual internacional que supera las diferencias religiosas, el producto de una gloriosa revolución científica que dio paso a la era moderna. En una visión simplista de este impacto, Newton fundó la física moderna al introducir

la gravedad e implementar al mismo tiempo dos transformaciones metodológicas esenciales: la unificación y la matematización. Al tratar de la misma forma una manzana y la Luna, relacionó un suceso cotidiano de la Tierra con el movimiento de los planetas por el firmamento, eliminando así la antigua división aristotélica entre los reinos terrestre y celestial. Aparte de unificar el cosmos, Newton unió también a los matemáticos y a los filósofos naturales, eclipsando los *Principia* de Descartes con su propio libro, unos *Principia* matemáticos, *Los principios matemáticos de la filosofía natural*.

A pesar de que Newton era, indudablemente, una persona brillante, los elogios a un genio solitario no suelen responder a la realidad. Como cualquier innovador, Newton se apoyó en los anteriores trabajos de Kepler, Galileo, Descartes y un sinnúmero de otros, como escribió de forma insidiosa a Hooke, que era corto de talla: «Si he logrado ver más lejos es porque me he subido sobre los hombros de gigantes»[39]. Celebrarlo como el creador de la ciencia moderna es también engañoso. Lejos de ser un físico entregado en el sentido moderno, Newton buscaba a Dios mediante el estudio de la alquimia y de la Biblia tanto como del mundo natural. Además, los filósofos naturales no aceptaron inmediatamente sus ideas: el modelo cósmico newtoniano fue criticado y modificado una y otra vez, y el newtonianismo actual es muy distinto del sistema propuesto originalmente en los *Principia*.

La historia de la manzana era prácticamente desconocida hasta la época de Byron. El símbolo de Newton era, en cambio, un cometa: Newton había adquirido celebridad por imponer regularidad en objetos que hasta entonces no eran más que meteoros flamígeros, advertencias esporádicas enviadas por Dios para sobrecoger a un mundo pecador. La aparición de varios cometas a principios de la década de 1680 —entre ellos el que ahora conocemos por el nombre del astrónomo Edmond Halley— hizo que Newton se obsesionase con su comportamiento: los observó a través de su telescopio, efectuó innumerables cálculos matemáticos y se enfrascó en encendidos intercambios epistolares con rivales como Hooke y el astrónomo real. Newton era reservado y poco dado a la luz pública, pero Halley le convenció para que publicase, asumiendo los gastos de edición de una obra fundamental que la Royal Society se declaró incapaz de costear.

De forma deliberada, Newton redactó sus *Principia* de forma inasequible para aquellos poco versados en matemáticas: su deseo, señalaba, era «evitar el acoso de los matemáticos aficionados»[40]. Escribiendo en latín para llegar a un público de expertos internacionales, Newton regresó a un lenguaje clásico: el de la geometría. Combinando los trabajos de Galileo y otros, estableció sus

tres leyes del movimiento, que describen la interacción de objetos como bolas de billar o balas. A continuación, Newton aplicó estas leyes para describir tanto el movimiento de los planetas como el de las partículas diminutas, introduciendo el nuevo concepto de gravedad como fuerza de atracción universal que se extiende por todo el espacio y afecta de igual forma a cometas, manzanas y átomos. Otro de los aspectos esenciales es que Newton expresó los efectos de la gravedad matemáticamente. Según su ley de los cuadrados inversos, cuanto más cercanos entre sí y más pesados son dos objetos, más intensa es su atracción mutua.

Algunos matemáticos quedaron inmediatamente convencidos, pero el desconcierto fue la reacción más habitual. Muchos de los que sí comprendieron sus explicaciones fueron críticos con ellas; en respuesta, Newton produjo otras dos ediciones de los Principia (en 1713 y en 1726), en las que adjuntó revisiones matemáticas, así como —algo quizá sorprendente en el libro más famoso de la historia de la ciencia— explicaciones acerca de Dios y del papel de los cometas en el mantenimiento de la vida. A diferencia de Descartes, Newton imaginaba grandes extensiones de espacio vacío, no solo en el cielo, sino también entre las minúsculas partículas que componen la materia aparentemente sólida. Los escépticos se preguntaban cómo viajaba la gravedad a través de esos espacios vacíos. Newton fue acusado de regresar a las antiguas fuerzas ocultas que los filósofos mecánicos declaraban haber eliminado. Y lo que es peor, la gravedad parecía ser un desafío al propio Dios. Si la fuerza gravitatoria fuese de algún modo inherente a la materia, la distinción entre la materia bruta y el mundo espiritual quedaría desdibujada. Las objeciones más intensas y duraderas contra Newton se basaban en argumentos religiosos.

Aunque actualmente se le considera el mayor científico de la historia, Newton era teólogo y alquimista, y Dios y los poderes ocultos están imbricados en su cosmología. En la filosofía original de Newton, Dios dominaba todo el Universo y estaba implicado de un modo constante en sus actividades. Newton no concebía la materia inerte de los cartesianos, sino una serie de partículas imbuidas de principios activos que mantenían la rotación de los planetas y la circulación de la sangre para que el sistema del mundo no se detuviera; como él mismo había señalado anteriormente, la naturaleza es «un obrero en perpetua circulación». Newton no dedujo estas ideas de su biblioteca de filosofía natural, sino de su colección mucho más extensa de obras sobre magia natural y alquimia. Para él, la alquimia no era un simple

pasatiempo, sino el camino esencial para comprender el Universo y crecer en espíritu.

Newton se hizo famoso por ofrecer una explicación matemática al comportamiento de los cometas. Al ser capaces de predecir su regreso, los filósofos superaron la posición de los astrólogos, que interpretaban a esos astros como funestos presagios que auguraban el fin del mundo. Sin embargo, Newton —como los astrólogos— veía en los cometas a agentes de Dios, enviados por Él para restablecer el esplendor de la vida terrestre con la materia activa especial de sus colas. Muchos filósofos naturales se resistían a esta visión de un Dios que intervenía en el Universo, ya que llevaba implícita su torpeza como relojero cuya obra original era imperfecta. «*Sir* Isaac Newton y sus seguidores defienden también una extraña opinión», protestaba la archinémesis de Newton, Gottfried Leibniz. «Según su doctrina, Dios tiene que dar cuerda a su reloj de vez en cuando para impedir que se detenga. Al parecer, careció de la previsión necesaria para dotarlo de movimiento perpetuo»[41].

Aparte de describir los movimientos de los planetas, Newton y sus seguidores intentaron explicar el comportamiento de la materia en la Tierra. Examinaron una amplia variedad de fenómenos —la reflexión de la luz, el comportamiento de los gases, las reacciones químicas, la respiración de las plantas, la actividad eléctrica, la digestión animal— y establecieron modelos matemáticos basados en la atracción de corto alcance entre partículas diminutas. Sin embargo, pronto se tropezaron con problemas teóricos: ¿cómo se explicaba, por ejemplo, la expansión de un gas compuesto de partículas que se atraían mutuamente? Desde 1740 aproximadamente, los filósofos naturales empezaron a prestar atención a la explicación alternativa de la gravedad ofrecida por Newton. Inspirado por sus investigaciones alquímicas, Newton había sugerido que unas partículas especiales, particularmente pequeñas, invadían la totalidad del espacio, formando un soporte invisible y sin peso capaz de transmitir la gravedad o el magnetismo, pero lo bastante enrarecido como para no afectar apenas a los planetas. Este sutil y espiritual *éter* eliminaba la objeción de la acción a distancia y hasta principios del siglo XX se recurrió a una u otra versión del éter para explicar la gravedad, la electricidad y otros fenómenos.

Los primeros partidarios de Newton decidieron dejar aparte el problema de la transmisión de la gravedad y se dedicaron a explorar los posibles usos de la teoría. La mayor parte del trabajo inicial de desarrollo se llevó a cabo en pequeños grupos especializados, entre los que se hallaba un equipo de

matemáticos escoceses y los colegas más próximos de Newton. Newton no invirtió demasiado esfuerzo personal en propagar sus propias ideas, pero algunos de sus seguidores sí empezaron a dar conferencias y a efectuar publicaciones simplificadas de su obra. En la época de su muerte, en 1727, la newtoniana Gran Bretaña estaba enfrentada con casi toda la Europa continental, partidaria de Descartes y Leibniz. Voltaire, uno de los primeros entusiastas de Newton, utilizó estas diferencias para acusar a los intelectuales franceses de atraso: «Un francés que llega a Londres encuentra las cosas muy cambiadas… Ha salido de un mundo lleno y se lo encuentra vacío. En París se concibe un Universo compuesto de vórtices de materia sutil; lo que ven en Londres es totalmente distinto»[42]. Sin embargo, la conversión de Francia no llegó hasta la segunda mitad del siglo XVIII.

Parece irónico que el autor de uno de los primeros libros que contribuyeron a la popularidad de Newton fuese un profesor de la Universidad de Leiden, Willem's Gravesande, que escribía en latín y, por tanto, podía acceder a los estudiantes de toda Europa. Gravesande encargó a unos artesanos holandeses que construyesen instrumentos de madera —torres de bloques, conos que rodaban pendiente arriba— pensados para demostrar (no para ensayar ni medir) los principios de la mecánica newtoniana. En Londres, el jefe de los ayudantes de experimentación de Newton, John Desaguliers, reconoció los beneficios que se podían obtener si se comercializaban de esta forma las ideas de Newton, y fundó una escuela privada en su propia casa en la que inventó sus propios dispositivos de demostración, que utilizaba para enseñar a profesores que, a su vez, establecían sus propios centros newtonianos.

La promoción de la reputación de Newton se convirtió en una especie de ejercicio de *marketing*. Para ganarse la vida, Desaguliers atraía seguidores, competía con sus rivales y vendía instrumentos, libros y conferencias. En su conjunto, estas iniciativas publicitarias contribuyeron a crear un nuevo interés público en la ciencia fuera de las privilegiadas fronteras de las universidades. Desaguliers fue también un ingeniero con iniciativa, que diseñó fuentes, bombas para minas y sistemas de ventilación con los que prometía liberar a Londres de sus «tiznantes vapores, que surgen de los innumerables fuegos de carbón, así como de la fetidez de los inmundos puestos de venta y del alcantarillado»[43]. Estos inventos con utilidad práctica consolidaron el prestigio de Newton, al persuadir a inversores y políticos de que sus teorías podían generar un provecho financiero, tanto para ellos como para la nación.

Desaguliers y otros partidarios de Newton estaban especialmente orgullosos de un instrumento específicamente ideado para demostrar la gravedad: el *planetario*, un modelo del sistema solar. En la imagen idealizada de la Figura 22[f22], una familia de las Midlands se reúne alrededor de un ejemplar excepcional de este aparato. Los grandes semicírculos, cuyo origen se halla en las esferas armilares de Ptolomeo (véase la Figura 4) realzan el dramatismo, pero la parte funcional del dispositivo es la base horizontal plana. La lámpara de aceite del centro, que representa el Sol, ilumina esta escena, situada en una biblioteca privada. Cuando la persona que efectúa la demostración (que lleva unos ropajes de color rojo, la indumentaria informal de los filósofos) gira la manivela de la máquina, las diminutas esferas giran alrededor del sol con velocidades proporcionales a las del movimiento de los verdaderos, planetas en el cielo. Como en otras imágenes de la Ilustración, el newtonianismo aparece también de forma simbólica. Los patrones de iluminación de los espectrales rostros hacen referencia a las fases de la Luna y los planetas, y las diversas atracciones entre los cuerpos celestes se reflejan en las diversas relaciones humanas: los dos niños están, física y emocionalmente, próximos entre sí, mientras que los adultos están espaciados en un círculo dominado por el profesor.

Estas representaciones visuales de los vínculos entre el cosmos gobernado por las leyes de Newton, el benevolente gobierno de Dios y la estable jerarquía de la sociedad georgiana se complementaban con expresiones verbales en la poesía y la filosofía. Cuando Jorge II fue coronado en 1727, el año en que murió Newton, Desaguliers publicó el equivalente en verso de esta pintura, en el que se deshacía en adulaciones al monarca inglés, al que comparaba con un Sol que extendía el poder del amor —la atracción— sobre una nación newtoniana. Como Voltaire y otros reformistas políticos, Desaguliers imaginaba una sociedad democrática newtoniana compuesta de ciudadanos libres que se atraían entre sí pero actuaban de forma independiente:

> Pues el Sol, con firmeza, en el Éter reside,
> y desde allí ejerce su Virtud de alcance;
> y, cual ministros atentos a su afán,
> seis Mundos rodean su Trono en Mística Danza…
> ATRACCIÓN que todo el Reino abarca
> y bendice el reino de JORGE y CAROLINA.[44]

Newton había centrado su atención en los planetas y en las partículas, pero sus sucesores llevaron su punto de vista matemático a todos los aspectos imaginables de la vida en la Tierra. Uno de los primeros incondicionales fue

un teólogo que, mediante la interpretación de las leyes de Newton, llegó (seriamente) a la conclusión de que la segunda venida de Cristo tendría lugar antes del año 3150. Mayor fue la influencia de la aplicación de la física de Newton a la descripción de los cuerpos vivos. Al principio, los filósofos concebían los cuerpos como máquinas que funcionaban de manera similar a las bombas hidráulicas; sin embargo, más adelante desarrollaron modelos de actividad nerviosa basados en el concepto newtoniano de éter, en los que se describía el recorrido de las señales desde y hacia el cerebro como una vibración que se transmitía a través de un sutil fluido contenido en los nervios. Los naturalistas quisieron emular la unificación del Universo de Newton; para ello intentaron hallar un poder universal que definiese la vida. David Hume se autodeclaró el Newton de la mente humana, y quiso construir la psicología sobre una base experimental y matemática; al mismo tiempo, Adam Smith adoptó una estrategia similar para sus teorías económicas.

A finales del siglo XVIII, el newtonianismo dominaba la vida intelectual con el poder de una ideología religiosa. Aunque algunas personas atacaron algunos de los detalles del edificio, la supervivencia profesional dependía de una lealtad inquebrantable. El newtonianismo se había convertido en la marca de fábrica de un modo de pensamiento, de un credo científico. Para que las teorías fuesen tomadas en serio debían llevar la etiqueta de newtonianas, por muy distintas que resultasen ser entre sí, e incluso de las propias obras de Newton.

Quizá el impacto más profundo de la gravitación fue el establecimiento de una fe optimista: la de que el cosmos estaba controlado por leyes simples. No solo las manzanas y la Luna, los átomos y los planetas, las bolas de billar y las galaxias: cualquier cosa podía, en principio, reducirse a fórmulas matemáticas sencillas. Esto incluía la mente humana, el tiempo atmosférico, el comportamiento de las multitudes, las reacciones químicas, el crecimiento de las plantas y el flujo del tráfico. La extraordinaria influencia de Newton era como un presente caído del cielo. «Debemos rendir homenaje a Newton», exhortaba en 1801 un investigador médico francés, «el primero en descubrir el secreto del creador, a saber, la reconciliación entre la simplicidad de las causas y la multiplicidad de los efectos»[45]. Newton se convirtió en el Dios de la razón durante la Ilustración, y fue elevado a la categoría de héroe por los herederos de la Revolución Francesa, que soñaban con utopías futuras modeladas según las directrices gravitatorias.

IV

Instituciones

Para comprender las razones por las que la ciencia se ha convertido en la columna vertebral del mundo moderno es necesario describir los eventos que tuvieron lugar tanto dentro como fuera de los laboratorios. La ciencia no es únicamente un producto final (como un teorema, una sustancia química o un instrumento), sino una parte integral de la sociedad, interrelacionada con la industria, el comercio, la guerra, el gobierno y la medicina. Las viejas historias sobre ciencia se centran, engañosamente, en los descubrimientos y en los grandes genios, y pasan por alto el siglo XVII, un período en el que, afirman, no sucedió nada importante. En realidad, para cualquiera que esté interesado en apreciar de qué modo $e ha forjado el poder de la ciencia, este es el período más importante, la transición fundamental entre los experimentos privados de unos cuantos acaudalados caballeros y la aparición de los laboratorios públicos, el patrocinio del estado y la industrialización de la era victoriana. Los experimentadores emprendedores empezaron a actuar como expertos en relaciones públicas. Convencieron a los críticos de que invertir en ciencia era la actitud más útil y rentable, promovieron las sociedades, las carreras y las oportunidades de financiación que se han convertido en el rasgo principal de la ciencia en el mundo, Quizá las instituciones no estén dotadas del carisma de los heroicos descubridores, pero fueron esenciales para publicitar los logros de la ciencia y para atraer el

soporte financiero. Sin ellas no existirían los grandes centros de investigación ni los proyectos científicos mundiales.

1 - Sociedades

> Los hombres de ciencia discuten con ardor sobre la forma de aplicar los resultados de sus trabajos en beneficio de la humanidad… Y sin embargo, fuera de sus departamentos, son de lo más intransigente. Son, en realidad, socialistas en sus laboratorios y conservadores en el Ateneo.
>
> Ritchie Calder, *El nacimiento del futuro* (1934)

La inspiración de los genios sirve para crear figuras decorativas pero, como decía Karl Marx de la filosofía, se trata de cambiar el mundo, no solo de interpretarlo. Según la tradición, los filósofos naturales observaban con la finalidad de averiguar por qué sucedían las cosas. En cambio, los nuevos experimentadores de los siglos XVII y XVIII se unieron para hacer que sucedieran cosas. Mediante la creación de sociedades científicas lograron el poder colectivo del que carecían como individuos. Newton, por ejemplo, se hizo célebre en toda Europa aprovechando una plataforma de promoción que ya existía, la Royal Society de Londres. Sin el soporte de la Society para dar publicidad a sus primeros inventos, experimentos y libros, le hubiese resultado difícil encontrar apoyos fuera de su pequeño círculo en Cambridge. Y, durante el último cuarto de su vida, la posición de Newton como presidente de esa institución le permitió ejercer su dominio sobre la investigación en Inglaterra. Sin embargo, aunque Newton estaba al mando, fue la Society la que llevó la ciencia a la sociedad.

En sus *Viajes de Gulliver*, Jonathan Swift se mofaba de los químicos que intentaban fabricar pólvora a partir de hielo, o de los arquitectos matemáticos que empezaban las casas por el tejado. Pero cuando el libro fue publicado en 1726, esta actitud desdeñosa y burlona estaba empezando a desaparecer. Por toda Europa se establecían sociedades científicas con el objetivo de demostrar que los experimentos podían convertirse en resultados. Durante el siglo XIX, los gobiernos realizaron cuantiosas inversiones en investigación científica, y se elogiaba a los inventores por su contribución fundamental al auge de la economía industrial. Aunque la ciencia seguía estando reservada a los

hombres pudientes, las sociedades científicas habían dado pie a un cambio espectacular, una explosión generalizada de la ciencia pública cuya importancia a largo plazo fue infinitamente mayor que las innovaciones individuales de un puñado de eruditos solitarios.

Hasta mediados del siglo XVII, los escenarios de la actividad intelectual eran privados, no públicos. Los universitarios vivían en comunidades apartadas, e incluso los investigadores experimentales menos convencionales de Oxford se encontraban en sus habitaciones privadas. A diferencia de lo que sucedía en la era victoriana, no había salones públicos ni salas de conferencias, así que los debates científicos tenían lugar intramuros, no solo en los estudios de los intelectuales, sino también en museos de coleccionistas, laboratorios alquímicos, salones de la corte, talleres de artesanos, comedores de aristócratas y bibliotecas de magos. De forma muy gradual, la importancia de esta actividad privada languideció, y aparecieron nuevas instalaciones en las que las personas podían reunirse en público.

Entre estos lugares se hallaban las casas de té inglesas, espacios comunes que los caballeros adoptaron como segundas residencias para atender su correo, leer periódicos y comentar los últimos avances lejos de las distracciones familiares. Otras instituciones públicas prosperaron también: salas de lectura, clubes de caballeros, museos, logias masónicas. Unidas al creciente número de periódicos diarios, revistas y libros, permitieron que las personas se enzarzasen en debates a nivel nacional, expresasen sus puntos de vista, obtuviesen información y, además, se entretuviesen. Aunque la distribución fue desigual, este fenómeno se extendió por toda Europa durante la Ilustración, una época en la que el conocimiento y el poder empezaron a salir de las élites más selectas y el concepto de «opinión pública», que ahora nos resulta tan familiar, empezó a desempeñar un papel vital en la toma de decisiones. Las fuentes del poder también cambiaron. Los gobiernos empezaron a arrebatárselo a los monarcas, y las organizaciones públicas desafiaron las estructuras de dominio intelectual tradicionales.

Las primeras sociedades científicas se crearon como parte de esta tendencia general a poner el conocimiento a disposición del público. No se trataba de casos excepcionales, sino de una variedad específica de estas nuevas instituciones que facilitaban a muchas más personas que antes la participación en debates organizados. La primera de estas instituciones que tuvo un impacto profundo fue la Royal Society de Londres, fundada por miembros del grupo experimental de Oxford (Boyle, Hooke, Wren y sus colegas) después de la restauración en el trono de Carlos II en 1660. Sus

primeras reuniones tuvieron lugar en Gresham College, un centro de navegación situado junto al Támesis y célebre por sus enseñanzas en matemáticas. Cuando la comunidad se consolidó adquirió sus propios locales de reunión cerca del Strand, el núcleo del floreciente comercio de instrumentos de Londres.

Otros gobernantes europeos reconocieron enseguida el estatus que proporcionaba una institución intelectual como esa y fomentaron la fundación de sus propios centros en ciudades importantes como París y Berlín. Aparte de estas instituciones nacionales, muchas ciudades de provincias establecieron sus propias sociedades de ámbito más reducido para comentar acerca de literatura, ciencia y actualidad. A finales del siglo XVIII había más de doscientos de estos círculos, con diversos grados de formalidad e influencia, dispersos por toda Europa y Norteamérica. En lugares tan lejanos entre sí como San Petersburgo y Filadelfia, Suecia y Sicilia, grupos de entusiastas se reunían con regularidad para debatir acerca de las más recientes ideas y descubrimientos de la ciencia.

Muchas sociedades tomaron el modelo de la Royal Society inicial. Desde el principio, sus fundadores no tuvieron dudas sobre cómo debían «apoyar su propia iniciativa»: debían «hallar todas las formas de revivir el brillo de lord Bacon»[46]. Bacon había muerto hacía unos cuarenta años, pero su figura aparece de forma prominente en el lado derecho de la Figura 23[f23], la portada del manifiesto experimental de la Royal Society. Como símbolo ideológico de la Society, Bacon lleva sus ropas oficiales de canciller y señala hacia los instrumentos que desde ese momento deben convertirse en la fuente del conocimiento. A la izquierda figura el primer presidente de la Society, William Brouncker, indicando al rey Carlos II, que está recibiendo una corona de laurel junto a la diosa de la fama. Esta adulación visual era un método convencional usado con la finalidad (infructuosa) de aumentar la cuantía del patronazgo real. Aunque los estantes están repletos de libros de los autores científicos más recientes (Harvey, Copérnico, el propio Bacon), la escena está dominada por los instrumentos. Las paredes están adornadas con versiones modificadas de dispositivos matemáticos tradicionales, mientras que el fondo (junto a la oreja derecha del rey) aparecen dos modernas innovaciones: un gigantesco telescopio óptico y una filosófica bomba de vacío.

Los miembros de la Society daban suma importancia a estas ambiciones baconianas. Sus aspiraciones consistían en recopilar observaciones, establecer leyes científicas y utilizar los conocimientos recién adquiridos para desarrollar inventos tecnológicos que pudiesen reportar un beneficio para la

nación. En la práctica, sucedió algo distinto. Para empezar, a pesar de que afirmaban haber creado una institución democrática, la Royal Society era en realidad una organización elitista dominada por aristócratas instruidos y terratenientes que formaban una nueva jerarquía científica. Aunque algunos constructores de instrumentos se convirtieron en miembros de la Society, estos hombres menos distinguidos no solían alcanzar posiciones de poder; las mujeres tenían, fundamentalmente, el acceso prohibido a las salas de reuniones hasta el siglo XX.

Aunque la mayor parte de instituciones metropolitanas siguieron el ejemplo de Londres y restringieron las posibilidades de ingreso, sí alcanzaron altas cifras de difusión a través de sus boletines, en los que se detallaban los experimentos más recientes. No solo era cada ejemplar leído por varias personas, sino que incluso aquellos que no podían acceder directamente a uno de ellos podían leer resúmenes en los cada vez más numerosos periódicos comerciales (en aquella época, el plagio estaba a la orden del día y la protección de los derechos de autor era inexistente). Mediante este material escrito, las sociedades convertían a sus miembros indirectos en una suerte de testigos virtuales, casi como si estuviesen personalmente presentes en las demostraciones originales. El objetivo principal de estos círculos de extender el conocimiento a través de la publicación se convirtió en el componente fundamental de la actividad científica.

El correo postal era también esencial para que los descubrimientos de las sociedades se hicieran públicos. Tanto hombres como mujeres podían participar en esta República de las Letras, una comunidad imaginaria que vinculaba a sus intelectuales ciudadanos en una extensa red de correspondencia. Los coleccionistas intercambiaban objetos e información: plantas interesantes, muestras de minerales, nuevos instrumentos o curiosidades naturales. A veces se publicaban cartas personales para que alcanzasen a un público más amplio. Por ejemplo, el pastor metodista John Wesley se enteró de las propiedades médicas de las máquinas eléctricas al leer la colección impresa de cartas de Benjamín Franklin enviadas de Filadelfia a Londres; a su vez, la fascinación inicial de Franklin por la electricidad tuvo su origen en la lectura de un artículo de una revista en el que se hablaba de unos experimentos realizados en Inglaterra.

Además de expandir conocimiento, las sociedades distribuían fondos monetarios. Tradicionalmente, el mecenazgo privado había actuado como sostén económico de los filósofos naturales que —como Galileo— carecían de riquezas propias. Esta influencia económica fue disminuyendo

paulatinamente a medida que el poder de las sociedades aumentaba y estas empezaban a establecer nuevos tipos de financiación, En Londres, el ámbito de financiación de investigaciones de la Royal Society era limitado. El económicamente modesto Hooke estaba empleado como conservador experimentador; sin embargo, debido a la negativa de los sucesivos reyes a proporcionar dinero, el salario asignado al puesto era pequeño y salía de las cuotas anuales de los miembros. La Real Sociedad francesa, en cambio, se aproximaba más a la visión de Bacon de organización financiada por el estado. Luis XIV, preocupado por aumentar su prestigio, pagaba los salarios de quince expertos con los que se reunía dos veces por semana en la biblioteca real, aparte de guiar los experimentos hacia asuntos de interés nacional. La diferencia entre las estructuras de las sociedades de París y de Londres supuso una influencia fundamental en el desarrollo científico en ambas orillas del Canal durante la Ilustración. En Francia, unos resultados generosos y una sólida base financiera alentaban las investigaciones teóricas y favorecían que el gobierno mostrase una decidida orientación científica. En Inglaterra, sin embargo, la investigación estaba más bien motivada por intereses particulares. Los aristócratas adinerados seguían sus propias líneas de exploración, mientras que los inventores emprendedores (como Desaguliers) se centraban en proyectos prácticos con el fin de generar fondos.

Las sociedades idearon gradualmente formas de sacar dinero a la fuerza a los reacios monarcas. En junio de 1760, los miembros de la Royal Society de Londres se enteraron de que los tradicionales enemigos de Gran Bretaña, los franceses, habían organizado diversas expediciones con el fin de registrar el tránsito de Venus (similar a un eclipse lunar) del año siguiente. Para justificar su solicitud de 800 libras al gobierno, la Royal Society hizo hincapié en el honor nacional: «supondría ceder demasiado terreno a los extranjeros si Inglaterra dejase de enviar observadores a los lugares más idóneos para ese propósito y súbditos de la Corona de Gran Bretaña»[47]. Aunque los resultados no fueron concluyentes, afortunadamente debía ocurrir otro tránsito ocho años más tarde, para el que los miembros solicitaron —y obtuvieron— cuatro mil libras. A finales de siglo, el presidente Joseph Banks —un aristocrático autócrata que ejerció su dominio sobre la ciencia británica durante cuarenta años— estaba situando estratégicamente en los comités de la Society a influyentes políticos que fueran capaces de obtener financiación del estado. A su muerte, en 1820, Banks había logrado implicar profundamente a la Royal Society en la expansión del imperio británico.

Banks tenía poco más de veinte años cuando se dio cuenta de que los intereses nacionales, las políticas del gobierno y la exploración científica estaban íntimamente ligados. En la expedición al segundo tránsito de Venus, en 1769, que se suele presentar como el primer ejemplo de colaboración científica, varias instituciones nacionales decidieron dejar aparcadas las rivalidades políticas con el fin de medir las dimensiones del Sistema Solar. Sin embargo, cada sociedad envió a su propio equipo, y los resultados se intercambiaron *a posteriori*. Aunque Gran Bretaña y Francia estaban oficialmente en paz, ambos países aspiraban a controlar la región del Pacífico, que ofrecía lucrativas rutas comerciales y bases militares de gran importancia estratégica. El Almirantazgo Británico aprovechó la oportunidad de combinar una expedición astronómica a Tahití con una misión de exploración a Australasia, y decidió enviar al capitán James Cook instrucciones secretas para recoger información, apoderarse de territorios y entregar todos sus cuadernos de bitácora a su regreso. Banks, que era un pasajero de pago que financiaba su propia investigación botánica, sabía que el gobierno tenía como objetivo la expansión de sus posesiones, no de su dominio científico.

Cuando los historiadores juzgan los logros científicos a partir de las publicaciones, los dos panfletos de Banks acerca de la cría de ovejas hacen que apenas se le tenga en consideración. Pero para los que consideran que es más razonable medir el rendimiento a partir de la influencia ejercida, Banks resultó ser un innovador de vital importancia, que convirtió la ciencia en una actividad de prestigio que impregnaba tanto la política como el comercio. Banks fue el introductor de dos nuevos modelos de rol científico. A través de sus propios viajes y de sus métodos para garantizar financiación consolidó el estereotipo del explorador heroico, el viajero romántico que, personificado en el Frankenstein de Mary Shelley, «voluntariamente sufrí frío, hambre, sed y sueño… dedicaba las noches al estudio de las matemáticas, de la teoría de la medicina y de aquellas ramas de las ciencias físicas que pensé serían de mayor utilidad práctica para un aventurero del mar»**[48]**. Banks dotó de atractivo y sofisticación a las exploraciones científicas, y las convirtió en sólidas inversiones comerciales.

Banks personificó también un tipo de científico cuya importancia no haría más que aumentar durante el siglo XIX: el administrador científico. Banks era un acaudalado terrateniente y confidente de Jorge III durante sus intermitentes ataques de locura, y llevó la ciencia hasta el núcleo de la política británica al convertirse, tanto él como la Royal Society, en piezas indispensables durante su largo período como presidente de la institución. Hasta nuestros días han

llegado más de veinte mil cartas, testimonio del control de Banks sobre un imperio científico internacional. Banks, un hábil negociador, persuadió a la Compañía de las Indias Orientales para que financiase una expedición cartográfica por el Pacífico, pero también instruyó a los cartógrafos para que recogiesen información comercial acerca del mercado de la India. Con sagacidad financiera, sacó provecho de la obsesión del rey por los Kew Gardens para obtener financiación real para una misión de reconocimiento que permitiría a la India bajo dominio británico minar el control chino del mercado del té.

Con Banks al frente, la Royal Society participó en todos los aspectos de la expansión del imperio, imbricando la ciencia de forma inseparable con la búsqueda internacional de materias primas y de tecnología extranjera. En los comités en los que se discutía el desarrollo colonial, los miembros de la Royal Society se encargaban de que se asignase una prioridad alta a la investigación científica, así que con frecuencia era imposible distinguir entre espionaje comercial, actividad diplomática e investigación científica. Al ser uno de los pocos ingleses que había estado en Australia, Banks desempeñó un papel decisivo en el establecimiento de las colonias penales en aquel continente. Como botánico más famoso del mundo, organizó una red internacional de jardines experimentales con el objetivo de trasplantar cultivos; esto alteró de forma permanente el paisaje de tierras lejanas, al convertir los terrenos en copias de la Europa agrícola hechas para la producción de ovejas, vacas, trigo y cebada.

La intención de Banks era mejorar el mundo con las mismas pautas que utilizaba en sus propios terrenos. Como sus colegas aristócratas, Banks estaba convencido de su responsabilidad en el mantenimiento de una sociedad estable y jerárquica y de tener el deber de mejorar el bienestar de los que estaban por debajo de él a través del incremento de sus propias riquezas. Para Banks, era un designio divino no solo que los mal pagados braceros de su granja de Lincolnshire generasen enormes beneficios para que él los gastase, sino que también los obreros africanos extrajeran minerales preciosos para aumentar la fortuna de Gran Bretaña. Lo que los críticos modernos llamarían explotación era para él ayuda recíproca. Desde su punto de vista, la India «gozaba de un sol, clima y población tan superiores a los de la Madre Patria» que su función natural era, por supuesto, proporcionar materia prima a las fábricas de Gran Bretaña y «unirse a la Madre Patria con los lazos humanos más fuertes e indisolubles, los del interés común y el beneficio mutuo»[49].

Tras la muerte de Banks, sus victorianos sucesores trataron de hacer de la Royal Society un lugar más democrático por el procedimiento de eliminar el recuerdo de su autoritario gobierno. En busca de antepasados de prestigio, decidieron acudir directamente a Newton, Galileo y otros descubridores solitarios. Para muchos científicos, no obstante, el mayor de los héroes era Bacon, santo patrón de las sociedades científicas cuya acción colectiva había sido capital en la creación de la ciencia pública. Con su conocimiento político de primera mano, Bacon había acuñado el lema perfecto para el ambicioso siglo XIX: «El conocimiento es poder».

2 - Sistemas

El intento de dividir en dos cualquier cosa debe considerarse, *a priori*, sospechoso.

C. P. Snow, *Las dos culturas* (1959)

Francis Bacon comparaba a los experimentadores con hormigas, corriendo de acá para allá recogiendo observaciones para que las sabias abejas (los filósofos naturales) las digiriesen. Pero, con la reducción del precio de los libros y la facilidad para viajar al extranjero, la masa de información acumulada enseguida se hizo imposible de gestionar. La organización era esencial. La imposición del orden permitía a los filósofos naturales mantener controlados a los díscolos datos y convertirlos en conocimiento científico. La Ilustración se suele denominar también la Era de la Clasificación, el período en el que la agrupación de los datos, los objetos y el conocimiento en categorías sistemáticas se convirtió en una obsesión.

La construcción de estos sistemas de archivo intelectual se reveló como una tarea compleja. Tristram Shandy Senior pasó tres años recopilando su *Tristrapaedia*, un sistema organizado de información cuya finalidad era la educación de su hijo, pero su avance era tan lento que la primera parte ya estaba obsoleta antes de concluirla. Un pedante de ficción menos conocido, el Dr. Morosophus, malgastó su vida leyendo versiones resumidas de entradas de la enciclopedia Chambers:

La Chambers abreviada era su afición completa de la fructífera A a la improductiva Z**[50]**.

La *Ephraim Chambers's Cyclopaedia*, que apareció en 1728, fue la mayor de las innovaciones de la Inglaterra de la Ilustración, el primer intento de reunir todo el conocimiento de la humanidad en una ordenada serie alfabética. Sin embargo, a finales del siglo XVIII, cuando el Dr. Morosophus aburría a sus colegas, la Chambers había sido superada por sus imitadoras: la *Encyclopédie* francesa y la escocesa *Encyclopaedia Britannica*.

Las enciclopedias posteriores se hicieron cada vez mayores, pero también —eso afirmaban, como mínimo, sus editores— mejoraron. Cada una eligió un esquema distinto para la realización de sus mapas del conocimiento (una metáfora muy popular durante la Ilustración). Chambers, un librero autodidacta cuyo objetivo era ilustrar a los ciudadanos de la República de las Letras, admitía que su división en Artes y Ciencias era un tanto arbitraria. Se presentaba como un explorador del intelecto que guiaría a sus lectores por los dominios de la sabiduría mejor establecida y les impediría vagar sin rumbo por el páramo de la ignorancia. Aun así, los viajeros modernos pronto se perderían. El camino marcado como «Racional» por Chambers conducía a la religión, la metafísica o la matemática, mientras que la óptica y la astronomía se hallaban en la misma ruta que la cetrería, la alquimia y la escultura.

Puede que Chambers fuese el primero, pero fueron sus herederos franceses los que crearon la Biblia de la Razón definitiva de la Ilustración. Como *Tristram Shandy* [la novela que acabaría ocupando 9 volúmenes (1759 y 1769)], su proyecto creció de forma ominosa, pero finalmente lograron llegar al final de la Z en 1772: el resultado fueron 28 volúmenes en los que estaba comprimido todo el conocimiento humano. Aunque podían hallarse referencias a artículos inexistentes, la *Encyclopédie* se convirtió en el símbolo de la taxonomía racional en Francia, siguiendo el modelo de un árbol cuyo tronco central estaba rotulado como «Razón». Los editores buscaron su inspiración en Bacon, y podaron drásticamente su esquema original para comprimir en un minúsculo espacio a la teología, mientras que las matemáticas y la filosofía natural recibían un amplio terreno. A lo largo de las décadas posteriores, estas fronteras intelectuales se revisaron una y otra vez hasta llegar a la configuración moderna de las disciplinas académicas.

Embutida entre la cosmología y la mineralogía, el plan de la *Encyclopédie* incluía una ciencia relativamente nueva: la botánica. La palabra misma se había inventado a finales del siglo XVII, cuando los naturalistas descubrieron la reproducción sexual de las plantas y los coleccionistas estaban abrumados, no solo por las nuevas especies importadas de ultramar, sino por los recientes descubrimientos en la propia Europa. Aunque se efectuaron muchos intentos de acomodar las numerosas plantas en las categorías aristotélicas, las anomalías eran abundantes: había que tomar decisiones similares a las de clasificar los murciélagos o los ornitorrincos como mamíferos o como aves. El sistema original de clasificación de Aristóteles era incapaz de resolver estos conflictos y fue, finalmente, abandonado.

Aunque los taxonomistas propusieron numerosos esquemas, ninguno de ellos satisfacía a todos. Como sucede con la clasificación de libros en una biblioteca, no existía la forma correcta de organizar el mundo natural; ninguno de los criterios para decidir el sistema de clasificación era mejor que los demás. Algunos de los debates se resolvieron acudiendo a poderosos mecenas para que actuasen de árbitros. Un misionero francés intentó acabar con el dominio del comercio de especias de los holandeses plantando nueces moscadas en un territorio propiedad de Francia. Sin embargo, un rival lo acusó de importar una planta distinta, superficialmente parecida a la otra pero de inferior calidad. ¿Era o no nuez moscada? La respuesta dependía del dominio comercial al que perteneciese cada taxonomista. Un problema similar surgió en Italia, cuando un coleccionista decidió ofrecer como regalo a su rey un mono hermafrodita. Los expertos de los museos insistían en que se trataba de una hembra normal; sin embargo, al no haber demasiados monos con los que comparar, no podían afirmarlo categóricamente.

Uno de los primeros clasificadores de la Ilustración fue John Ray, un antiguo profesor de Cambridge que aprovechaba la generosidad de sus amigos para financiar sus viajes por Europa en busca de especímenes de colección y que introdujo algunas palabras útiles, como «pétalos» en lugar de «hojas coloreadas». Ray, que era enfermo crónico y aliviaba sus cólicos medicándose a base de puré de cochinilla, luchó durante treinta años para publicar su colosal compendio de plantas, pero al final se vio obligado a reducir costes omitiendo las ilustraciones. Con la intención de reconciliar opiniones encontradas sobre los límites de las categorías (¿cuándo pasa un arbusto a ser un árbol?), Ray afirmaba que debían tomarse en consideración varias características al mismo tiempo, razonando que era imposible ir más allá de las impresiones que produce la planta (olor, color, sensación) y discernir su esencia interna.

El destino de Ray fue similar al de Chambers: a pesar de ser un pionero de la clasificación, es mucho menos conocido que su sucesor, Carl Linneo. Linneo, que era la versión sueca de Joseph Banks, hizo un par de incursiones breves en el círculo polar Ártico, pero luego se dedicó a intentar organizar el mundo de su propio jardín en Uppsala, una pequeña ciudad universitaria. El objetivo de Linneo, un hábil propagandista de sí mismo, era doble: propagar su sistema de clasificación de plantas, que se sigue utilizando de forma generalizada, y revivir la economía nacional mediante la producción doméstica de productos de lujo. De igual modo que Banks mantenía desde su casa de Londres correspondencia con botánicos de todo el mundo, Linneo

permaneció en Suecia, pero envió equipos de colaboradores para que le trajesen ejemplares exóticos y predicasen su evangelio taxonómico.

Para espanto de sus rivales, Linneo decidió simplificar drásticamente el problema de la clasificación de las plantas mediante la elección de un único criterio: el número de órganos reproductivos. Su nuevo «Lenguaje de las flores», se jactaba Linneo, era tan directo que incluso las mujeres eran capaces de entenderlo. En contraste con sistemas anteriores como el de Ray, que exigía complejas comparaciones cualitativas, la taxonomía de Linneo afirmaba ser simple y racional porque se basaba en contar. Linneo organizó las plantas en veinticuatro clases según el número de estambres masculinos de la flor. Teniendo en cuenta el número de pistilos femeninos, subdividió cada una de estas clases en tres órdenes de categoría inferior, organizados numéricamente.

Aunque Linneo estaba formulando un esquema supuestamente científico, su texto parece más bien la parodia de una novela rosa: «Las hojas de las flores», proclamaba, «actúan como lechos nupciales gloriosamente dispuestos por el Creador, adornados por nobles doseles y perfumados con suaves aromas para que los novios celebren allí sus esponsales con gran solemnidad»[51]. Aunque su sistema pueda parecer objetivo, la verdad es que se basaba en los prejuicios de los moralistas cristianos de la Ilustración. La división fundamental de Linneo entre masculino y femenino era la misma distinción que tenía lugar entre la chovinista sociedad de la Europa del siglo XVIII.

Al asignar prioridad a las características masculinas, Linneo impuso sobre el reino vegetal la misma discriminación sexual prevalente en el mundo de los seres humanos. Su primer nivel de ordenación depende del número de estambres masculinos, mientras que los subgrupos vienen determinados por los pistilos femeninos. Como este método antropomórfico de dividir el reino vegetal parecía natural, incluso querido por Dios, los naturalistas podían hacer el razonamiento inverso: como las jerarquías sexuales son prevalentes en la naturaleza, también la supremacía masculina —según esta torcida lógica— debe ser apropiada para las personas. Este argumento no tiene en cuenta que este orden sexual fue, de hecho, tomado originalmente de la sociedad. La clasificación de Linneo no solo reflejaba los prejuicios sociales, sino que los reforzaba.

Linneo adquirió fama como taxonomista, pero también era un activista religioso y un chovinista que planeaba salir al rescate de Suecia utilizando las leyes de la naturaleza dictadas por Dios para impulsar la maltrecha economía

del país. En su interpretación de la Biblia, que compartían muchos de sus contemporáneos, los seres humanos poseían una doble misión divina: cuidar del mundo y explotarlo para su propio provecho. Para muchas personas, la maximización de los beneficios tenía prioridad sobre la búsqueda del conocimiento, y la razón que impulsaba a los naturalistas a investigar las plantas no era únicamente la curiosidad científica, sino hallar la forma de convertirlas en medicinas, alimentos o materiales de construcción. Mientras algunos sostenían que Dios había esparcido Sus riquezas por toda la Tierra con el objeto de impulsar el comercio internacional, Linneo estaba convencido de que la intención de Dios era que Suecia prosperase cultivando todo lo que necesitaba dentro de sus propias fronteras.

Si se analiza desde un punto de vista eurocéntrico, Linneo controlaba un imperio botánico internacional, enviando y recibiendo cartas, personas y especímenes desde su base central. Pero desde la perspectiva de los comerciantes asiáticos que vendían café, té y seda, sus emisarios suecos no eran más que crédulos clientes dispuestos a pagar precios muy altos. Otros aspectos del desarrollo imperial durante la Ilustración pueden mirarse también desde perspectivas alternativas. En las ciudades británicas, las cafeterías surgieron como nuevos centros sociales en los que se desarrollaba la opinión pública, pero también eran empresas comerciales establecidas por emprendedores inmigrantes asiáticos o africanos, y su popularidad se incrementó a raíz de la masiva importación de azúcar procedente de plantaciones en las que trabajaba mano de obra esclavizada. Se puede interpretar que Gran Bretaña se enriqueció tomando enérgica posesión de las colonias y explotando sus insospechados recursos; otra interpretación, sin embargo, es que los comerciantes orientales que se relacionaban en redes de mercado ya existentes decidieron protegerse cargando precios superiores a los del mercado a las compañías comerciales británicas, forzándolas a establecer sus propias plantaciones. El imperio comercial británico no era exactamente una rueda en la que Londres era el eje, sino más bien una red internacional de centros locales en la que cada centro negociaba con aquellos con los que estaba conectado.

El mundo estaba empezando a uniformizarse. A medida que los agricultores oportunistas empezaron a trasplantar variedades de cultivo a zonas que proporcionasen mejores cosechas, el mundo empezó a parecerse cada vez más a un único jardín global. Banks envió el árbol del pan de Tahití al Caribe, los esclavos africanos llevaron arroz a Carolina, los cultivadores europeos trasladaron la producción de café de Moca a Java. Mientras los

esclavos americanos y los jefes africanos llevaban ropas de algodón hindú, los hindúes estaban cultivando guindillas, tomates y otros vegetales de Suramérica distribuidos por los invasores portugueses y españoles. En Suecia, Linneo convenció al gobierno para que invirtiese en sus ambiciosos proyectos en los que prometía arrozales, árboles de canela y plantaciones de té. El éxito inicial de Linneo al lograr cultivar el primer platanero de Europa le ayudó a conseguir financiación para sus visionarias ambiciones, en las que Suecia iba a disfrutar de productos de lujo cosechados en su propio territorio, a diferencia de Gran Bretaña y Holanda, que tenían que importarlos de sus imperios en el extranjero. Por desgracia para Suecia, los sueños agrícolas de Linneo demostraron ser menos duraderos que su taxonomía.

El sistema de Linneo acabó por imponerse, no por ser intrínsecamente correcto, sino porque, con la colaboración de sus discípulos, Linneo convenció a los naturalistas de que era el más cómodo. Aunque tuvo poderosos aliados como Banks, Linneo se enfrentó también a una oposición feroz. A los caballeros británicos les escandalizaba el vocabulario explícitamente sexual de Linneo, sobre todo porque se consideraba que la botánica era la única ciencia apropiada para las mujeres. Aunque a los botánicos franceses no les importaba el sexo, sí creían que era incorrecto limitar a la naturaleza en categorías artificiales, y criticaron a Linneo por hacer caso omiso de muchas de las características de una planta y centrarse exclusivamente en su flor. El portavoz más influyente de esta opinión fue Georges Buffon, un matemático newtoniano que era además director de los jardines del rey. La *Histoire naturelle* (*Historia natural*) en 44 volúmenes de Buffon era el equivalente en las ciencias de la vida a la *Encyclopédie*, un compendio colosal y magníficamente ilustrado de información acerca de la Tierra y sus habitantes que se tradujo rápidamente al inglés y que fue elogiado en toda Europa.

Buffon miraba hacia atrás, hacia Aristóteles y la Gran Cadena del Ser, y concibió una jerarquía continua que empezaba por la más inferior de las criaturas, pasaba por los animales complejos y los seres humanos y proseguía hacia los seres espirituales, hasta llegar a Dios. La más importante de las contribuciones de Buffon fue poner la «historia» dentro de la «historia natural». Rechazando el relato literal de la Biblia, amplió el pasado de la Tierra y dejó paso a la posibilidad de un cierto tipo de cambio o evolución. Mientras que Linneo buscaba el orden impuesto por Dios durante su breve período de Creación de seis días, Buffon contemplaba un universo cambiante en el tiempo. Con argumentos newtonianos, presentaba la Tierra como un

globo que se enfriaba paulatinamente, en el que la vida había aparecido antes en el mar para luego pasar a la tierra. Rompiendo con la tradición, no clasificó las plantas según su aspecto actual, sino por sus orígenes.

A pesar de sus diferencias, tanto Buffon como Linneo creían en la superioridad de Europa. Aunque a Linneo se lo presenta como el fundador de la moderna taxonomía, la raíz de sus convicciones científicas estaba en su fe cristiana. Linneo consideraba su jardín botánico como un paraíso en miniatura, dividido en cuatro partes como el Jardín del Edén y distribuido de forma ordenada como si él mismo estuviese presentando el propio esquema de clasificación de Dios. Cuando Linneo amplió su sistema a los seres humanos, los agrupó en cuatro razas que se correspondían con los cuatro continentes, las cuatro partes del Paraíso y los cuatro humores que gobiernan la salud de las personas. Los mejores, según Linneo, eran los ingeniosos y rubicundos europeos; los otros tres eran los amarillos y melancólicos asiáticos, los negros y ociosos africanos y los rojizos y despreocupados indios americanos.

La teoría de Linneo recibió un duro golpe con el descubrimiento de un quinto continente, Australia. Hacia finales del siglo XVIII, los encuentros con otras sociedades y los debates políticos sobre la esclavitud transformaron las teorías europeas sobre las razas. Las discusiones más encendidas no eran acerca del número de razas, sino sobre dos cuestiones relacionadas: ¿Existe un límite definido, imposible de traspasar, entre los humanos y otros primates? ¿Son los europeos intrínsecamente mejores que otros pueblos? (y, en tal caso, ¿quién estaría primero: los hombres negros o las mujeres blancas?). Los abolicionistas sostenían que todos los seres humanos son creados iguales; para justificar las diferencias físicas, razonaban que las personas que viven en lugares distintos se han adaptado gradualmente a las condiciones del clima local. En cambio, los propietarios de esclavos justificaban la explotación con el argumento de que los europeos blancos y los africanos negros eran dos especies distintas.

Los naturalistas decidieron dar una solución a estos debates adoptando un esquema de clasificación completamente nuevo, que no se basaba en el juicio personal, sino en medidas efectuadas con sumo cuidado. Este enfoque numérico, alegaban, permitiría estudiar las razas desde un punto de vista científico. A pesar de sus afirmaciones de objetividad, estos taxonomistas cuantitativos introdujeron el juicio subjetivo en los debates sobre raza. Pieter Camper, un célebre anatomista y activista contra la esclavitud holandés, tenía la intención de confirmar que las diferencias entre los habitantes de los

distintos continentes no eran más que superficiales; sin embargo, sus diagramas apoyan la tesis de la supremacía europea (Figura 24[f24]). Mediante el examen de los cráneos, Camper midió el ángulo de los rostros. Tras algunos ajustes geométricos, los clasificó en una línea continua desde los simios, en el lado izquierdo, pasando por los africanos y los asiáticos, hasta los actuales europeos, acabando en el extremo derecho con una estatua de Apolo. Aunque esta escala es aparentemente matemática, una impresión que acentúan las líneas de la cuadrícula, en realidad se trata de una escala estética, en la que se clasifica a los humanos en función de su distancia relativa a dos extremos irreales: el grotesco primate y el perfecto dios griego. Mediante esta clasificación geométrica arbitraria, Camper otorgó credibilidad científica a la Gran Cadena del Ser de Aristóteles.

El esquema de clasificación cuantitativa de Camper convirtió los prejuicios raciales en una idea científicamente respetable. Desde ese momento se han hecho mediciones de muchas otras características humanas —el tamaño del cerebro, por ejemplo— para justificar la discriminación entre razas y sexos sobre la base de diferencias físicas inherentes. La Ilustración se contempla como la gran Era de la Clasificación, en la que la ciencia fue capaz de entender el mundo mediante la organización en pulcras categorías. Pero las prioridades de los clasificadores eran variadas, y nunca se pusieron de acuerdo sobre cuál era el sistema perfecto. Como en muchos otros aspectos del conocimiento científico, se llegó al consenso a través de la negociación, y el voto que podía inclinar la balanza no dependía únicamente de que los argumentos fuesen los más convincentes, sino también de la potencia de la voz que los exponía.

3 - Carreras

> La Princesa construirá en Kew la próxima primavera un invernadero de 120 pies de largo, con vistas a la cría de especies exóticas de los climas más cálidos, en el que mis conducciones, destinadas a proporcionar un flujo continuo de airé caliente puro, probablemente sean muy útiles… ¡Qué grandes perspectivas para la mejora en el cultivo de vegetación en invernaderos!
>
> Stephen Hales, carta a John Ellis (1758)

Los caballeros ingleses mantenían sus distancias con el sórdido asunto de ganar dinero. «No fue el beneficio», decía un rico aristócrata al Parlamento, «lo que impulsó a Newton a instruir y deleitar al mundo; no sería digno de un hombre de su altura tener tratos con un sucio librero»[52]. Estos altisonantes ideales eran correctos para aquellos que se lo podían permitir, pero para los que carecían de un generoso mecenas o unos padres adinerados, practicar ciencia implicaba hallar la forma de obtener un pago por ello. Durante el siglo XVIII, los emprendedores científicos —conferenciantes, editores, escritores, constructores de instrumentos— desarrollaron métodos para sacar provecho de la ciencia. Esto provocó una retroalimentación positiva. Cuanto más eficaces eran los vendedores en convencer a los posibles clientes de la utilidad de la ciencia, más crecía el prestigio de esta, así como el número de clientes. Primero en Inglaterra y luego en toda Europa y América, la ciencia se expandió hasta convertirse en una operación comercial pública.

Para el futuro de la ciencia a largo plazo, el invento más importante de la Ilustración no fue ningún instrumento ni teoría determinados, sino el concepto de carrera científica. En la actualidad, los niños de cualquier condición social pueden (al menos en principio) seguir una trayectoria bien definida en la escuela y la universidad para obtener cualificaciones profesionales en ciencia y disfrutar de las ventajas habituales: ingresos fijos, laboratorio u oficina institucional, suscripciones a revistas y sociedades, etc. Estas posibilidades no existían en el siglo XVIII, cuando los filósofos más inquietos empezaron a experimentar con sus propias vidas y a plantearse la posibilidad de vivir de la ciencia. Algunas personas se hicieron ricas. Pero, lo que es más importante,

ayudaron a crear una élite intelectual que planteaba un desafío a la jerarquía aristocrática tradicional. En el resto de ambientes sociales de la Ilustración tenían lugar también cambios similares: escritores, artistas y músicos luchaban para lograr posiciones profesionales lucrativas.

Las estructuras existentes cambiaron poco a poco, pero las viejas redes del poder y de los privilegios sobrevivieron. Para los innovadores científicos, ser miembro de la Royal Society suponía una enorme ayuda. Gradualmente, la Royal Society dejó de ser un club de caballeros para pasar a ser una institución de investigación más seria. Aunque los aristócratas y los nobles seguían abundando, un número cada vez mayor de socios lograron entrar a través de sus propios logros: miembros de las nuevas clases medias que gustaban de verse a sí mismos como caballeros, a pesar de la degradante necesidad de trabajar. A falta de los salarios que poseían sus homólogos en París, muchos de estos pioneros de la empresa científica decidieron comercializar sus libros y sus inventos. Aprovechando el prestigio de las siglas FRS (*Fellow of the Royal Society*, miembro de la Royal Society), obtuvieron patrocinios y contratos comerciales, utilizando la Society para su beneficio monetario propio. En conjunto, incrementaron la importancia social de la ciencia.

La Royal Society creó uno de los primeros empleos científicos con sueldo de Gran Bretaña: el de director del Museo Británico. Esta institución patrocinada por el estado, fundada en 1759, no solo exhibía objetos artísticos y libros, sino también curiosidades naturales, como conchas, animales disecados, minerales y plantas. Los miembros de la Society se aseguraron de que fuese uno de los suyos quien se encargase del trabajo de dirigir esta institución pública: Gowin Knight, un hábil arribista. Knight, hijo de un clérigo pobre, era un médico e inventor que ganó una beca para Oxford y que logró maniobrar hasta alcanzar los escalones más altos de la Royal Society. Aunque se le criticó como oportunista e interesado, lo cierto es que las maniobras de Knight para incrementar su estatus social contribuyeron a promocionar el valor de la innovación. Aunque el propio Knight no fue una persona significativa por sí misma, representa a muchos otros emprendedores de la Ilustración cuyas actividades de promoción propia combinadas supusieron un empujón vital para el futuro de la ciencia.

La vida de Knight ilustra hasta qué punto la innovación práctica puede ser más significativa que las ideas. Aunque sus teorías eran ampulosas y enrevesadas, lo realmente importante fueron sus inventos y sus habilidades publicitarias. Londres era el centro del comercio mundial de instrumentos, y

Knight introdujo los imanes de acero de alta calidad, que vendía con un amplio margen de beneficio, llevando así la medición de precisión a la investigación experimental. Convencido de la importancia del comercio y la mejora de la navegación, Knight logró aumentar aún más su estatus social y su fortuna al convencer a la Marina Británica para que distribuyese sus precisas y costosas brújulas. En una típica maniobra de provecho mutuo, este patrocinio de la marina supuso un beneficio personal, pero también permitió a la Royal Society alardear del papel vital de la ciencia en el comercio británico. Desde su puesto de poder en el Museo Británico, Knight moldeó el rostro público de la ciencia mediante la organización de exposiciones y la adopción de los métodos de clasificación de Linneo.

A pesar de que cada vez era mayor el interés de las personas por la ciencia, el paso de la esfera privada a la pública fue muy gradual. Durante todo el siglo XVII, el acceso a la ciencia seguía siendo limitado. En un reflejo de los prejuicios de sus colegas, Knight restringió la entrada al Museo Británico, dificultando el acceso de las mujeres y los obreros a los últimos descubrimientos. La pertenencia a la Royal Society estaba más controlada que nunca, y dependía de recomendaciones personales. Aunque algunos constructores de instrumentos lograron ingresar, los miembros denegaron numerosas solicitudes de otras personas cuyos conocimientos científicos eran sólidos, pero que carecían de las habilidades aduladoras de un graduado universitario de noble crianza.

Un candidato que guardó el rencor de su rechazo durante toda su vida fue Benjamín Martin, un influyente experimentalista que hizo mucho por la ciencia inventando instrumentos, escribiendo libros de divulgación y recorriendo el país para pronunciar conferencias. Los pioneros de la publicidad como Martin desempeñaron un papel crucial para persuadir a la clase media de que la ciencia, además de interesante, era importante. Pretenciosos escritores satíricos los trataban despreciativamente de filósofos autodidactas con intereses comerciales; sin embargo, a pesar de su falta de educación formal, estos precursores cambiaron el estatus de la ciencia en Gran Bretaña al llevarla a la vida cotidiana. La Figura 22 representa cómo los artistas cautivaban a las familias con planetarios, bombas de vacío y otros aparatos que estimulaban el interés del público por las novedades científicas; los artesanos respondieron a la demanda ampliando la gama de instrumentos de demostración a la venta. El conocimiento científico se puso de moda. El costoso equipo de la Figura 20 no estaba hecho para utilizarlo (el artista, sarcásticamente, ha situado el globo terráqueo debajo de la mesa), sino para

exhibir buen gusto. Para hacer hincapié en su sofisticación cultural, este caballero ha decorado la pared de su casa con retratos de Francis Bacon e Isaac Newton (a la izquierda; los de la derecha son los poetas John Milton y Alexander Pope).

El compromiso público influía decisivamente en el desarrollo de la ciencia. Los miembros de la Royal Society se consideraban una élite intelectual de personas privilegiadas cuyos conocimientos científicos se derramaban sobre la masa desinformada. En realidad, la situación era de interacción recíproca. Los clientes científicos querían que los editasen, mientras que los filósofos naturales necesitaban convencer a sus posibles compradores de que tenían algo que vender que merecía la pena ser comprado. Esta situación dictaba que la investigación generase productos susceptibles de ser comercializados, no solo explicaciones teóricas sobre el funcionamiento del Universo, sino también objetos prácticos para mejorar la navegación, o espectaculares planetarios que educasen al público al tiempo que lo entretenían. En lugar de un flujo unidireccional de información de arriba abajo, los productores y los consumidores formaban parte de redes de dependencia mutua.

La competencia era terrible. Para cautivar al público y competir con los magos y los actores de teatro, los conferenciantes científicos se veían obligados a crear espectáculos atractivos. Pronto se dieron cuenta de que los efectos escénicos que causaban más efecto eran los producidos por la electricidad, el triunfo publicitario más significativo de la Ilustración. Tal como Martin afirmaba con entusiasmo en uno de sus educativos textos, la electricidad ofrecía «un entretenimiento para los ángeles, más que para los hombres»[53]. Los conferenciantes ambulantes hechizaban a su público con chorros de agua iluminados, insectos electrificados y vasos de licor que se encendían con el simple toque de una espada. Las familias ricas adquirían sus propios aparatos, y las damas de la aristocracia excitaban a sus pretendientes con besos eléctricos. En la corte de Hannover, las demostraciones de electricidad sustituyeron a los bailes; en Versalles, un despiadado maestro de ceremonias entretenía al rey haciendo saltar en el aire a una cadena de 180 soldados con una descarga eléctrica. En Londres, las cenas se animaban con cubiertos electrificados, mientras que los americanos planeaban festines de pavo asado en un asador eléctrico.

La historia de la electricidad está repleta de accidentes. Los experimentadores excesivamente entusiastas sufrían hemorragias nasales e incluso llegaban a matarse, y los descubrimientos más importantes se llevaban

a cabo de forma involuntaria. Incluso la primera máquina eléctrica fue un inesperado subproducto de las investigaciones de Newton con vidrio y bombas de vacío, que ocurrió cuando su ayudante Francis Hauksbee, un pañero convertido en científico, comprobó para su sorpresa que un globo rotatorio en el que se había hecho el vacío adquiría una fascinante tonalidad violeta entre sus manos. Años más tarde, un profesor holandés que manipulaba una botella de agua, un cañón de una pistola y una versión de la máquina de Hauksbee recibió una tremenda descarga; sin saberlo había inventado la botella de Leyden, el primer instrumento para almacenar electricidad estática. A finales del siglo XVIII, un anatomista de nombre Luigi Galvani notó por casualidad que la pata de una rana muerta se contraía al ritmo marcado por una máquina eléctrica cercana, un descubrimiento que —después de mucho trabajo de investigación— conduciría a la electricidad tal y como la conocemos actualmente.

Aunque la electricidad se inventó en el seno de la Royal Society de Londres, su importancia la adquirió fuera de ella, con los empresarios que desarrollaron amenos trucos y aplicaciones prácticas. Después de que Hauksbee publicase sus experimentos en el boletín de la Royal Society, una copia de este llegó a las manos de Stephen Gray, un tintorero de provincias que decidió trasladarse a Londres y hacer de la electricidad su vocación. En la Figura 25**[f25]** se muestra una versión de su número más espectacular: suspender a un niño electrificado del techo de su habitación para hacerlo atraer limaduras de latón con su mano. El experimento casero de Gray se hizo rápidamente famoso. Al principio el interés se limitaba a los grupos de privilegiados filósofos naturales vinculados con la Royal Society, pero pronto los libros y las revistas hicieron llegar las emociones de la electricidad a un público más amplio en toda Europa y el noreste de América. La imagen ilustra cómo los proyectos de investigación de la Royal Society se convertían en rentables espectáculos. A la derecha, un asistente gira la manivela de una máquina eléctrica, mientras que otro pone su mano sobre el globo que gira. Con su mano izquierda, el chico colgante atrae eléctricamente plumas o limaduras de latón, mientras que con la derecha transmite su carga a una segunda persona, protegida por una base aislante. A veces se utilizaba a chicas, lo que añadía un ligero matiz de atracción sexual a los experimentos que agradaba a los espectadores.

Otra de las formas de promocionar la ciencia era convertirla en algo útil. Los más optimistas preveían obtener todo tipo de beneficios de la electricidad: gallinas más prolíficas, tiempo atmosférico más seco, hortalizas

de mayor tamaño; dos inventos, sin embargo, fueron especialmente importantes: los pararrayos y la terapia de electrochoque, ambos con el apoyo del editor y político Benjamín Franklin. La cometa de Franklin se ha convertido en el equivalente americano de la manzana de Newton, un relato mitológico en el que se presenta a Franklin como el intrépido investigador que se enfrentó a una tormenta con una llave de hierro en la mano para atraer un relámpago de las nubes (a diferencia de algunos de sus menos afortunados imitadores, Franklin tuvo la precaución de aislar su mano con un paño de seda). Primero en América y más tarde en Europa, las iglesias, los barcos y otras construcciones altas empezaron a protegerse (y aún lo están) mediante pararrayos que conducen la electricidad con seguridad hasta el suelo.

A diferencia de los pararrayos, el uso de la electricidad para el tratamiento de enfermedades se considera actualmente cruel y erróneo. En aquella época, sin embargo, Franklin y otros eminentes investigadores recomendaban el tratamiento de electrochoque para curar afecciones de todo tipo, desde la gripe y el dolor de muelas hasta la locura y la parálisis. La ortodoxia médica aún no se había establecido, e incluso los médicos tradicionales con mejor formación disponían de escasos medios para evitar el dolor o curar las infecciones. Los profesionales de la medicina competían entre sí por tratar a los clientes ricos, desesperados por obtener algún tipo de ayuda, y muchos de ellos firmaron declaraciones juradas en las que afirmaban la eficacia de los tratamientos eléctricos. El efecto placebo aún no había sido identificado de forma oficial, pero a finales del siglo XVII, la medicina eléctrica era un negocio rentable y respetable.

La mayor parte de los médicos que utilizaban la electricidad eran hombres, y casi todos sus pacientes eran mujeres. Una de las razones para esta diferencia de géneros era que, según se afirmaba, las mujeres eran más susceptibles a los efectos eléctricos. Pero más significativamente, las mujeres, junto con los artesanos, eran ciudadanos de segunda clase, no solo en los asuntos de la política, sino también en las actividades del intelecto. En el salón de la Figura 20, el padre y su hijo gemelo mayor se encuentran en el lado de los científicos, junto con Bacon y Newton, mientras que la madre y las hijas se hallan en el reino de la poesía junto con el gemelo más joven, y construyen un frágil castillo de cartas que simboliza que su herencia ha sido eliminada por el azar. Cuando la ciencia se puso de moda, las mujeres fueron reducidas al papel de espectadoras capaces de comprender el conocimiento, pero a las que no se les permitía crearlo. En uno de los libros más difundidos de Benjamín Martin, un estudiante de Oxbridge se pasa las vacaciones

haciendo demostraciones de experimentos a su hermana, ofreciéndole explicaciones sencillas con condescendencia mientras ella elogia su brillante inteligencia. La lectura entre líneas está clara: si hasta nuestras hermanas y nuestras hijas son capaces de entender la ciencia, sus vecinos de la clase intelectual —los hombres poco cultivados— también podrán seguir las argumentaciones.

A partir del ejemplo de Martin y otros divulgadores, algunas mujeres rompieron las convenciones a finales del siglo XVIII y decidieron escribir sus propios libros y ganar su propio dinero. Dejando atrás al condescendiente hermano mayor de, Martin, crearon figuras femeninas de autoridad, maternales institutrices que ofrecían consejos morales a sus jóvenes pupilos y los guiaban hacia la belleza y el orden del mundo natural. Aunque las mujeres estaban excluidas de las universidades y los laboratorios, interpretaron un papel esencial en el desarrollo de la ciencia al poner a disposición de muchas más personas la información sobre experimentación científica. Algunos de sus libros se convirtieron en éxitos internacionales e influyeron en sus lectores, algunos de los cuales acabaron por convertirse en científicos profesionales. Por ejemplo, Michael Faraday, que se hizo famoso en todo el mundo por la introducción del campo eléctrico, rindió siempre tributo a Jane Marcet, autora del libro de química camuflado en forma de conversaciones entre una madre y sus hijos que fue el que lo convenció para iniciarse en la ciencia.

A Faraday se le considera un héroe de la industria eléctrica, pero su carrera como científico asalariado no hubiese sido posible sin las iniciativas empresariales del siglo XVIII. En 1711, el personaje de ficción Mr. Spectator recomendaba el acceso público a la ciencia, declarando que «tengo la ambición de que se diga de mí que he sacado la Filosofía de los Armarios y las Bibliotecas, las Escuelas y las Universidades, para que viva en los Clubes y las Reuniones, en los Salones de té y en las Cafeterías»[54]. Las jerarquías tradicionales tardaron en romperse, pero un siglo más tarde su sueño se había cumplido, al menos en parte. Como hijo de un herrero, Faraday no tenía ninguna posibilidad de ir a la universidad, pero después de leer el informal libro de Marcet, se las arregló para llegar a la ciencia como ayudante de Humphry Davy, célebre químico y presidente de la Royal Institution de Londres, establecida a finales del siglo XVII para estimular la investigación y la educación científicas. Tras la muerte de Davy, el propio Faraday se convirtió en presidente de esta institución, una historia romántica de persona

pobre que hace fortuna que ninguno de los contemporáneos de Mr. Spectator del siglo anterior podría siquiera haber imaginado.

Faraday fue una excepción; los prejuicios estaban muy arraigados y acabar con ellos era un proceso lento. A pesar de que Faraday logró escapar de su mísera infancia y seguir una carrera científica, muchas personas de posición privilegiada despreciaban y temían la igualdad de oportunidades y la posibilidad de que las categorías inferiores escalasen posiciones sociales. En la primera sede de la Royal Institution, construida en 1801, había una discreta escalera de piedra por la que los obreros podían entrar por separado y sentarse en la galería lejos de sus patronos. Esta democrática escalera hacia la educación superior pronto fue demolida. Como se muestra en la caricatura de James Gillray de la Figura 26[f26], solo podían formar parte del público los clientes acomodados que pagaban por ello, a los que se ridiculiza aquí tomando notas con aplicación en una sesión de experimentos químicos, la última moda en Londres.

Por muy sólidos que sean los cimientos actuales de la ciencia, hace doscientos años su estatus era confuso. El conferenciante con el fuelle en la mano es Humphry Davy, famoso actualmente por haber descubierto nuevos elementos y por haber inventado la lámpara de seguridad para mineros, pero al que en aquella época se solía vilipendiar por haber importado la química de Francia, lo que amenazaba con desequilibrar los valores de la clase dirigente. En la escena de Gillray se hace burla de un acontecimiento real que salió mal, en el que un espectador que hacía de conejillo de Indias disfrutaba hasta tal punto de los efectos del gas de la risa (óxido nitroso, que más tarde se emplearía como anestésico) que se negó a dejar de inhalarlo. En otras ocasiones menos accidentadas, Davy —a quien se le daba bien el espectáculo — demostró que era capaz de controlar las fuerzas de la naturaleza con sus instrumentos químicos y eléctricos. Davy, un hábil propagandista de sí mismo, se hacía llamar genio de la experimentación y acabó siendo presidente de la prestigiosa Royal Society.

Sin embargo, las reservas sobre la ciencia no desaparecieron por completo, y nadie sabía cómo llamar a los hombres que la practicaban (la palabra «científico» aún no se había inventado). En una expresión que recuerda al deseo de Bacon de dominar el mundo mediante el cambio, Davy se jactaba de que sus experimentos «permitían que el hombre interrogase a la naturaleza con el poder en la mano, no solo como un erudito pasivo cuyo único objetivo era comprender su funcionamiento, sino como amo, activo, con sus propios instrumentos»[55]. Pero Davy también advertía a su público de

que las promesas de los ambiciosos especuladores científicos podían caer en el exceso.

Fue una mujer, Mary Shelley, la que capturó con mayor habilidad algunas de estas ambiguas actitudes. Después de sumergirse en las conferencias publicadas de Davy, Shelley creó a Víctor Frankenstein, un producto de su imaginación que, como el dios Jano, representaba los diversos rostros de la ciencia experimental. Haciéndose eco de las advertencias de Davy, Shelley cautivó a sus lectores al articular sus propias sensaciones ambivalentes acerca de la investigación científica. En la actualidad se suele interpretar *Frankenstein* como un aviso profético de los peligros de la ciencia, en especial de la bomba atómica. Pero en realidad Shelley estaba poniendo de manifiesto el incierto estatus de la ciencia en su propia época. Aunque Knight, Martin y otros muchos filósofos pioneros habían logrado vender la ciencia al público, a principios del siglo XIX muchos clientes seguían siendo reticentes a comprarla.

4 - Industrias

> Prometo pagar al Dr. Darwin, de Lichfield, la cantidad de mil libras a su entrega (antes de dos años desde la fecha actual) de un Instrumento denominado órgano, capaz de pronunciar el Padrenuestro, el Credo y los Diez Mandamientos en la Lengua Vulgar, y su cesión en exclusiva a mi persona de dicho invento y de todos los beneficios que de él se deriven.
>
> Matthew Boulton (3 de septiembre de 1771)

En la década de 1830, el número de famosos súbditos de Gran Bretaña enterrados en la abadía de Westminster era tal que se estaba acabando el espacio. Cuando se colocó en su lugar la gigantesca estatua de James Watt, los críticos protestaron por su estilo inapropiado, pero fueron silenciados por sus hagiógrafos, que lo proclamaban como el moderno Arquímedes. Mientras que el momento «¡Eureka!» de Arquímedes había tenido lugar en la bañera, Watt no era más que un niño cuando vio levantarse la tapa de una tetera con agua hirviendo, una observación que (supuestamente) le había inspirado para diseñar motores de vapor con los que impulsar maquinaria pesada. Según sus incondicionales, el motor de Watt no solo había convertido a Gran Bretaña en la primera nación industrial del mundo, cuyos productos manufacturados suponían un beneficio para toda la humanidad, sino que también supuso la victoria ante Francia en las guerras napoleónicas.

La inscripción del monumento a Watt en la abadía («un genio original que se inició pronto en la investigación filosófica») representa un compromiso[56]. A los londinenses más modernos les costaba admitir que la riqueza de la nación se debiese a los propietarios de fábricas del norte, y miraban con desprecio a los empresarios cuyo objetivo no era acumular conocimientos, sino dinero. Preferían pensar que Watt había sido un genio innato, el hijo autodidacta de un constructor de barcos escocés que había alcanzado su posición gracias a su inteligencia y su dedicación. A la inversa, a los propietarios de fábricas amigos de Watt les preocupaba el estatus de inferior categoría de los ingenieros, de modo que quisieron presentarlo como un pensador científico serio. Estos defensores de puntos de vista opuestos y procedentes de ambientes sociales muy distintos acabaron por quedar de

acuerdo en una posición intermedia entre ingeniero inspirado y erudito científico.

Watt se convirtió en el héroe de la industrialización, elogiado por convertir las máquinas de vapor en máquinas de fabricar dinero. Pero los inventos de un solo hombre, por importantes que sean, no pueden explicar por sí mismos por qué el cambio a una sociedad industrial tuvo lugar mucho antes en Gran Bretaña (a mediados del siglo XVIII) que en el resto de Europa. Parte de la respuesta se halla en los abundantes recursos naturales del país. Los emprendedores sacaron provecho del suministro local de hierro, carbón y madera, materiales esenciales para la automatización de los procesos agrícolas y de fabricación. Igualmente significativa es la explotación de las posesiones imperiales británicas; la circulación global de personas, riquezas y productos era impulsada por el oro que extraía de las minas en África la mano de obra esclavizada. Para satisfacer la necesidad creciente de mercados en ultramar, los fabricantes británicos tuvieron que inventar formas mejores de convertir el algodón y los metales (materiales importados a bajo precio de América y Asia) en finas telas y lujosos ornamentos para los norteamericanos, que pagaban con las cosechas de las plantaciones cultivadas por esclavos africanos. El tejido industrial de Gran Bretaña dependía de la opresión, no solo de su propia clase obrera, sino también de sus súbditos en colonias repartidas por todo el mundo.

El aspecto de Gran Bretaña cambió de forma permanente durante el siglo XVIII. A fin de aumentar la eficiencia a gran escala, los terratenientes abolieron el sistema tradicional de pequeños terrenos personales para sustituirlos por grandes campos abiertos. Con el fin de traer materias primas y exportar productos, los propietarios de las fábricas encargaron la construcción de canales en todo el país e invirtieron en grandes carreteras pavimentadas. Los obreros desplazados se concentraban allá donde hubiese oportunidades de trabajo de modo que, por primera vez, los centros industriales del norte se hicieron mayores que los puertos provinciales y las ciudades con catedral del sur. Anteriormente la riqueza dependía de la herencia y de la agricultura; a principios del siglo XIX, los industriales hechos a sí mismos eran más ricos que la mayor parte de aristócratas.

Los críticos victorianas expresaban su desagrado por las humeantes chimeneas, ruidosos trenes y destartaladas barriadas, censurando a los prósperos patronos que hacían caso omiso de la suciedad, la enfermedad y la pobreza que imponían a sus obreros. Pero los empresarios del siglo XVIII que introdujeron por primera vez nuevas técnicas de fabricación no eran

conscientes de que sus innovaciones fueran a traer consigo tan nocivos efectos. Aunque su principal finalidad era aumentar sus beneficios, también creían en el progreso. Las máquinas, sostenían, no solo mejorarían sus propias posiciones sociales, sino que también traerían consigo más oportunidades para sus obreros y para la nación en su conjunto. Los paternalistas terratenientes pronosticaron que la automatización del vapor supondría una ventaja para sus empleados al aliviar la monotonía del trabajo manual. Es necesaria nuestra visión en retrospectiva para darse cuenta de que su confianza era ingenua; en realidad, una excusa para justificar la explotación.

Durante las primeras fases de la industrialización, muchos escritores y artistas consideraban que los puentes, los canales y los molinos no echaban a perder el paisaje natural sino que, de hecho, lo mejoraban. Sus pintorescas visiones están tipificadas en la Figura 27**[f27]**, en la que aparece el primer puente de hierro colado del mundo, en Coalbrookdale. Los recursos de carbón y hierro del valle lo convirtieron en un lugar idóneo para la construcción de refinerías, cuyos productos podían transportarse fácilmente por el curso del río Severn hasta el puerto atlántico de Bristol. Esta escena representa un canto al progreso de las provincias, y en ella se muestra el puente como una maravilla del mundo moderno y se alaba al hierro como el versátil material del futuro. La estructura artificial del puente se adapta armoniosamente a su natural e idílico escenario, con el reflejo del arco exagerado para formar un círculo, símbolo de la perfección divina. El río serpentea serenamente por la garganta, sus meandros enmarcados en suaves pendientes boscosas; las únicas indicaciones de polución son unas pocas trazas de humo.

En contraste con esta escena de tranquilidad, la siderurgia de Coalbrookdale adquiere también una exótica grandeza a un tiempo atroz y encantadora. En arte y literatura, las fábricas de las Midlands se presentaban como formidables maravillas que, como abadías en ruinas, proporcionaban a los británicos los homólogos artificiales de las escarpadas gargantas alpinas o los abrasadores volcanes de Italia. La industria del turismo doméstico floreció; los intrépidos londinenses se aventuraban hacia el norte para admirar la ambigua fascinación de Coalbrookdale. Un visitante del sur se maravillaba ante «el ruido de las fraguas, los molinos, etc., con sus inmensas máquinas, los hornos escupiendo llamas de carbón ardiente y humo del tueste de la piedra caliza, una sensación sublime que hace buena compañía a los escarpados macizos rocosos»**[57]**.

La Gran Bretaña de la Ilustración suele denominarse la Era de Newton, una denominación que solo es razonable si, junto con la abstracta física, se

incluyen también las prácticas máquinas newtonianas. Quizá la racionalidad y la cortesía dominasen las veladas nocturnas, pero este período se caracteriza también por la agitación, la suciedad y la inventiva. Durante la segunda mitad del siglo XVIII, mientras los filósofos naturales mostraban orgullosos sus planetarios, sus máquinas eléctricas y sus bombas de vacío, los investigadores industriales anunciaban sus productos, mucho más útiles y rentables, que sus propios experimentos producían: teteras, jabón, joyas, tintes.

Mientras la Royal Society de Londres se convertía en una pieza clave en el programa de expansión imperial del gobierno, algunos de sus miembros se asociaban también a otra selecta hermandad: la *Lunar Society*. Los miembros de esta sociedad, que procedían de todos los rincones de las Midlands, se reunían una vez al mes en la casa de uno de ellos, el lunes de la semana de luna llena, para que su viaje de vuelta por los caminos sin asfaltar quedase bien iluminado. Fundado alrededor de 1750, este grupo informal tenía un número variable de asociados, con un núcleo central de buenos amigos con una amplia gama de intereses: geología, medicina, educación, motores, electricidad, química, globos aerostáticos, botánica o platería. No han llegado hasta nuestros días las actas de sus reuniones, pero sus cartas reflejan un fructífero intercambio de ideas entre personas con distintas aficiones pero con un único y primordial objetivo: el progreso.

Los hombres de la Lunar Society no eran excepcionales en este respecto, pero reflejaban una frecuente actitud optimista convencida de que los británicos cada vez eran más instruidos y civilizados, más sanos y más ricos. Los escépticos sostenían que el exceso de lujo acaba conduciendo a la degeneración (solo había que ver lo sucedido con el imperio romano), pero los superaban en número los economistas entusiastas que afirmaban que la industrialización suponía un beneficio tanto para los compradores como para los productores. Desde su punto de vista, la prosperidad era un proceso que se reforzaba a sí mismo: a mayor riqueza, más se trabaja para ganar aún más dinero. Lo mismo, decían, era cierto a escala nacional, de manera que el país en su conjunto se beneficiaba del trabajo de los fabricantes en busca de rentabilidad.

Para la Lunar Society, el progreso implicaba también la mejora de la organización social. Cuando el químico Joseph Priestley declaró que «las jerarquías inglesas… tienen razón al tener miedo de una bomba de vacío o de una máquina eléctrica», estaba expresando la amenaza de que las innovaciones técnicas alterarían para siempre la distribución de la propiedad del dinero y del poder[58]. Estos pioneros de la industria, impulsados por un

utópico fervor, prometían que una mayor prosperidad sería beneficiosa para todos, pero no parecía preocuparles si el trabajo era o no satisfactorio. El economista de Edimburgo Adam Smith insistía en que era posible incrementar la eficiencia dividiendo la producción en sucesivas etapas, de modo que cada trabajador tuviese asignada una minúscula tarea repetitiva, en lugar de hacerlo responsable de la creación de un producto acabado. Siguiendo el consejo de Smith, Josiah Wedgwood, propietario de un taller de cerámica, se propuso «construir unas máquinas artificiales que no puedan equivocarse»[59].

Los miembros de la Lunar Society se reunían como iguales, pero no es así como se les recuerda. Algunos de ellos se consideran padres fundadores de la ciencia: el Dr. Erasmus Darwin, abuelo de Charles y que también escribió sobre la evolución; Joseph Priestley, un clérigo autodidacta que llevó a cabo experimentos químicos con gases (y que vendió ingenuamente su receta para fabricar agua de soda a Mr. Schweppes); el Dr. William Withering, que convirtió el remedio de hierbas de una sabia mujer en una eficaz medicina para el corazón. Watt, como «un genio original que se inició pronto en la investigación filosófica», se situaría en la frontera entre la ciencia y la ingeniería. Por otro lado, a sus colegas que contribuyeron a cambiar el país mediante la promoción de la industria y el comercio (Josiah Wedgwood, James Keir y Matthew Boulton) se les considera simples fabricantes, y han quedado relegados a un lugar inferior en la escala del estatus científico.

Estas divisiones entre ciencia, tecnología y comercio surgen del anticuado esnobismo de las facciones rivales que debatían sobre la inscripción del monumento a Watt. A pesar de que se puede describir a Wedgwood, Keir y Boulton como industriales de provincias, esta clasificación pasa por alto el hecho de que también eran miembros electos de la Royal Society. Quizá Wedgwood fuese un oportunista comercial que se publicitaba como «Alfarero del Universo», pero también era un experimentador meticuloso que tomaba la delantera a sus rivales a base de analizar sistemáticamente arcillas, minerales y pigmentos y registrar sus resultados en sus libretas de laboratorio secretas. Como supo apreciar la propia Royal Society, aunque la intención original de Wedgwood al desarrollar su termómetro de alta temperatura era la supervisión de los hornos, resultó un instrumento valioso en una amplia gama de aplicaciones científicas. Keir amasó una considerable fortuna con sus fábricas de jabón, pero era un experto internacional en cristales, y su lucrativa contribución a la salud y la higiene nacionales se fundamentaba en rigurosas investigaciones químicas.

Unidos por su entusiasmo y por su impulso de progreso, los hombres de la Lunar Society ejercieron un impacto fundamental en la vida británica. Boulton, un industrial de Birmingham, compartía los ideales de Bacon que profesaba la Royal Society, como se aprecia en sus conversaciones con el escritor escocés James Boswell: «Lo que vendo aquí, caballero, es lo que todo el mundo desea poseer: poder»[60]. Se refería a las máquinas impulsadas por vapor de Boulton, que supusieron en sí mismas un cambio en el poder social. Los miembros de la Lunar Society se dieron cuenta de que la prosperidad les permitía desafiar las jerarquías tradicionales mediante el matrimonio con mujeres de la aristocracia, la adquisición de terrenos y la construcción de lujosas casas para ellos y viviendas de bajo precio para sus trabajadores. Estos hombres promovieron la implantación de un sistema educativo democrático en el que la inteligencia, no la cuna, marcase el camino del éxito. Darwin y algunos otros miembros patrocinaron incluso la educación para las chicas (aunque asumieron que los hombres, seguirían estando al mando). En su *Diccionario Químico*, la intención de Keir era poner la información libremente a disposición de todos para que sus lectores pudieran decidir por sí mismos. Quería que «el público de todas las naciones y de todos los tiempos tomase decisiones con un conocimiento completo de la cuestión»; la química debía ser del pueblo, no de la élite privilegiada[61].

En apoyo de estas promesas de igualdad, los propietarios de las fábricas convencieron a sus clientes de que podían comprar productos similares a los que poseían los socialmente superiores. O, expresando sus tácticas publicitarias en la jerga actual, prometían «movilidad ascendente a través de la compra de bienes materiales». Las sociedades de consumo se basan en la suposición de que los objetos son los que hacen que la vida valga la pena; esta nueva visión de la felicidad por la propiedad la iniciaron los grandes innovadores de la publicidad en el siglo XVIII. Wedgwood era un magnífico productor de artículos de cerámica, pero su golpe maestro consistió en crear deseo, en convencer a sus clientes de que era razonable sustituir la porcelana funcional por sus últimos diseños, y actualizarla unos pocos años más tarde. Al reducir sus precios, Wedgwood hacía crecer constantemente el número de compradores dispuestos a trabajar más para disponer de dinero y así poder comprar imitaciones baratas de la porcelana de los aristócratas.

A pesar de sus aspiraciones democráticas, la Lunar Society seguía creyendo que algunos hombres (ellos mismos, por ejemplo) debían poseer más privilegios que otros. Así mismo, a pesar de que con frecuencia prestaban atención a las contribuciones de sus esposas a sus negocios, no consideraban

seriamente la posibilidad de colaborar con las mujeres en pie de igualdad. Darwin alabó la automatización en un largo y florido poema, con largas notas a pie de página atiborradas de detalles técnicos en las que elogiaba las innovaciones de sus colegas de la Lunar Society, pero omitió a los obreros y las mujeres. He aquí un fragmento del tributo lírico de Darwin a las innovaciones en la industria del algodón:

> Gentilmente, con suaves labios, el carrete va girando,
> deshace la madeja, las agujas envuelve.
> . . . . . .
> Vuelan las bobinas, relumbran los ejes,
> y poco a poco gira la laboriosa rueda[62].

En el himno a la maquinaria de Darwin, las máquinas rotatorias parecen compararse con los armoniosos movimientos planetarios descritos por Newton. Pero es la rueda la que trabaja. Los obreros humanos nativos y los esclavos de las colonias no se mencionan. Darwin se limita a pasar por alto los devastadores efectos de la mecanización sobre las diestras hilanderas y tejedoras —tanto mujeres como hombres— que eran sustituidos por un solo supervisor, siempre hombre, a cargo de una máquina. Los propietarios de fábricas que prometían una mayor calidad de sus productos solían quejarse de que sus trabajadores no eran fiables, eran incapaces de colaborar y simplemente no podían copiar la perfección de los equipos automáticos. Cuando estallaron revueltas, Watt y Wedgwood hablaban de las maravillas de la modernización, pero parecían haber olvidado sus propios orígenes pobres. No mostraban consideración alguna por las causas subyacentes del descontento: hambre, largas jornadas laborales, desempleo.

Los primeros industriales estaban comprometidos con el progreso, pero a mediados del siglo XIX, los reformistas reclamaban otro tipo de mejoras. Mientras que Darwin había olvidado estratégicamente mencionar a las mujeres y a los obreros, una nueva generación de escritores estaba ahora poniendo de manifiesto las terribles condiciones en los suburbios de las fábricas. En 1842, un capataz textil que se aventuró en una barriada de clase baja en Manchester descubrió que «la atmósfera… está oscurecida y cargada con el humo de una docena de altas chimeneas de fábrica. Una horda de harapientas mujeres y niños lo invade todo, tan sucios y míseros como cerdos que se revuelcan en los montones de basura y en los charcos»[63]. Su nombre era Friedrich Engels, coautor junto con Karl Marx del Manifiesto comunista. Mirando hacia atrás, a mediados del siglo XVIII, Engels explicaba que Gran Bretaña había sufrido una transformación industrial cuyas verdaderas

consecuencias se estaban empezando a comprender. Si hubiese podido mirar hacia delante, hubiese quedado sorprendido del impacto de su propia obra, que a su vez los historiadores están empezando ahora a comprender.

5 - Revoluciones

El revolucionario más radical se convertirá en conservador el día después de la revolución.

Hannah Arendt, *The New Yorker* (1970)

La Revolución Francesa transformó el curso de la historia, y también la propia forma de entenderla. En el año III de la República Revolucionaria Francesa (1794), un espía industrial parisino regresaba de una misión secreta de reconocimiento en las fábricas británicas para informar de que «se estaba desarrollando, para espanto de toda Europa, una revolución en las artes mecánicas, la verdadera precursora y causa principal y verdadera de las revoluciones políticas»[64]. Al transmitir este vehemente mensaje acerca de la transformación de la industria, el espía dio a la palabra «revolución» su significado más moderno: en lugar de referirse al movimiento cíclico de los planetas alrededor de la Tierra, se refería a un cambio abrupto e irreversible de cualquier tipo. Desde la Revolución Francesa, muchos historiadores —políticos, económicos y científicos— han adoptado esta metáfora revolucionaria y construido el pasado a partir de una serie de rupturas radicales.

En el análisis del pasado de la ciencia, la revolución química suele presentarse como una de estas transiciones repentinas. Parece aún más especial al coincidir (aproximadamente) con las revoluciones francesa y americana, y su principal protagonista, Antoine Lavoisier, proclamaba en su época su condición de revolucionario. Como si fuese un agitador político, Lavoisier planificaba su táctica cuidadosamente y anotaba en secreto sus planes para revolucionar la ciencia. Finalmente, en 1789, el año en que tuvo lugar la Revolución francesa, publicó un libro en el que anunciaba que había invalidado las viejas teorías químicas de Joseph Priestley y de sus colegas ingleses. En la Figura 28[f28] se ilustra esta heroica versión de Lavoisier, contemplando aquí a su esposa, Marie Paulze, como si fuese su musa científica, al tiempo que corrige las galeradas de su libro, su manifiesto químico, en el que presentó una nueva nomenclatura y simbología similar a la

que se utiliza en la actualidad. Los instrumentos que ocupan un lugar destacado en la mesa están destinados a producir oxígeno, mientras que los que brillan a sus pies, pintados con gran meticulosidad, tienen como finalidad destacar la importancia de la precisión en las medidas y simbolizan la victoria de Lavoisier sobre su rival inglés.

Los equivalentes escritos de este cuadro son también espectaculares; en ellos se desprecia a Priestley tratándolo de persona chapucera e ingenua que creía en una sustancia imaginaria denominada flogisto, y se elogia a Lavoisier como el genio incisivo y metódico que descubrió el oxígeno y erradicó conceptos ridículos y pasados de moda. Introducido originalmente en las minas de Alemania (no es una coincidencia que los nazis destruyesen la estatua de Lavoisier), el concepto de flogisto se generalizó para explicar la combustión y el refinado de metales. A pesar de las burlas, la teoría del flogisto funcionaba correctamente en determinadas circunstancias. Cuando las menas metálicas (óxidos, en terminología actual) se calientan con carbón vegetal, absorben flogisto y se convierten en metales; cuando los metales se calientan, liberan su flogisto (visible en forma de brillo azul en la superficie) y se vuelven a convertir en menas. Los problemas aparecieron cuando los químicos empezaron a usar balanzas más precisas, que dificultaban la explicación de por qué los metales ganan peso cuando se calientan y liberan flogisto; ¿no deberían pesar menos?

La innovación de Lavoisier fue darle la vuelta al proceso, sugiriendo que los metales absorben oxígeno mientras que las menas metálicas lo liberan. Después de calentar polvo de mineral (mena) de mercurio concentrando la luz solar con unas lente, Lavoisier recogió el gas liberado, hizo ensayos con él para eliminar otras posibilidades y, a continuación, le dio: nombre: oxígeno. Pero este dramático relato de su victoria sobre Priestley adolece de diversas objeciones. Para empezar: ambos químicos aislaron el mismo gas, pero —igual que los historiadores cuando analizan el pasado— lo interpretaron de forma distinta. Y Priestley llegó antes: a lo que Lavoisier llamó «oxígeno», Priestley ya lo había llamado «aire desflogisticado». La principal fuente de flogisto era el carbón vegetal; Priestley lo asoció con la impureza, y se enorgullecía de haber producido aire refinado con maravillosas propiedades para el mantenimiento de la vida (no tenía reparo alguno en cronometrar cuánto tiempo tardaba en morir asfixiado un ratón en diversos tipos de gases).

Hasta el propio Lavoisier creía que su revolución iba más allá de la simple identificación del oxígeno. Su meta era reformar toda la ciencia química. Lavoisier, que era un escrupuloso abogado y recaudador de impuestos, era

partidario acérrimo de la razón y el orden; equilibraba ambos miembros de las ecuaciones químicas como si tratase de cuadrar sus cuentas y acentuaba la importancia de la precisión en las medidas. Para acompañar el nuevo lenguaje matemático del álgebra desarrollado en Francia, Lavoisier introdujo una nomenclatura química lógica. Tradicionalmente, las sustancias recibían nombres en lengua vernácula en función de su origen o de sus propiedades; Lavoisier los sustituyó por etiquetas latinas que (según afirmaba) podían entenderse en todo el mundo. Por ejemplo, las sales de Epsom se hicieron internacionales con el nombre de sulfato de magnesio.

Los experimentadores británicos se resistían a adaptarse a las recomendaciones de Lavoisier, no porque fuesen chovinistas reaccionarios, sino porque preferían otro estilo de investigación. Priestley valoraba las observaciones imprevistas, y criticaba a Lavoisier por su planificación sistemática paso a paso, que impedía aprender de los resultados durante la realización del experimento. Tanto en Francia como en Gran Bretaña, los detractores de Lavoisier le acusaban de avanzar con demasiada rapidez, de razonar de forma deductiva a partir de un puñado de observaciones y extraer enseguida conclusiones generales, y de confiar en exceso en complicados instrumentos que podían introducir errores en el proceso. Desde el punto de vista de los críticos, Lavoisier se situaba en la posición de experto privilegiado que dependía de costosos dispositivos y utilizaba palabras sofisticadas desconocidas para las personas que trabajaban a diario con sustancias químicas: boticarios que recetaban sales de Epsom como laxante o artesanos que fabricaban jabón o vidrio a partir de soda común (carbonato sódico, según la nueva denominación).

En Francia, Lavoisier se convirtió en un símbolo de la química revolucionaria, no solo porque tenía indiscutiblemente razón, sino porque convenció de ello a muchos personas influyentes. Junto con su mujer, lanzó una amplia campaña publicitaria con libros, conferencias, obras de teatro e ilustraciones con el objetivo de derrotar a la oposición y promover sus propias ideas. Después de que los jacobinos guillotinasen a Lavoisier por motivos financieros, sus seguidores, que no habían podido (o querido) salvarlo, se aseguraron su propio futuro con el razonamiento de que su nueva química era esencial para colocar a Francia a la cabeza del mundo y loaron a Lavoisier como héroe revolucionario, llegando al punto de representar un funeral simulado que atrajo a tres mil afligidos asistentes. Como Galileo, Lavoisier se convirtió en un mártir mitológico de la ciencia, la figura simbólica

representada en la Figura 28, un químico entregado a su profesión cuya revolucionaria ciencia se apartaba de consideraciones prácticas.

Pero esa no es la única forma de representar a Lavoisier. Por ejemplo, la carpeta que se muestra en el lado izquierdo de este doble retrato oculta los dibujos de su esposa, en los que Lavoisier no se muestra como un genio solitario, sino como el director de un equipo de personas en un laboratorio en el que la propia Paulze desempeñó un papel esencial. Desde el punto de vista de los jacobinos, Lavoisier no era más que un adinerado terrateniente que explotaba a los pobres, y por eso lo encarcelaron y lo ejecutaron. Sus amigos, en cambio, veían en Lavoisier a un reformista radical comprometido a mejorar las condiciones de los granjeros y los trabajadores de las fábricas, hasta el punto de invertir su propio dinero en la revisión profunda de los métodos de cultivo y de fabricación. Algunos historiadores ven en Lavoisier a un práctico innovador que mejoró la iluminación de las calles de París y el suministro de agua de la ciudad; otros, en cambio, le acusan de ser un teórico dogmático que, según los criterios actuales, cometió curiosos errores, como llamar elementos químicos al calor y la luz, o declarar que el oxígeno es un componente esencial de todos los ácidos (el ácido clorhídrico es la excepción más común).

En los relatos heroicos, Lavoisier creó en solitario toda la química moderna. Las versiones más realistas lo representan como una de las muchas personas que convirtieron paulatinamente la alquimia en la disciplina científica de la química, modificando las técnicas heredadas de sus predecesores. Estas transiciones se simbolizan en la Figura 29**[f29]**, en la que se representa un laboratorio en Kingston (cerca de Londres) especialmente pensado para la investigación química, a mediados del siglo XVIII. Los dibujos de la pared (las conducciones de agua de la izquierda, el invernadero de la derecha) acentúan la importancia del aspecto práctico de la química. El lado izquierdo del grabado está dominado por los hornos, desarrollados por los alquimistas para el refinamiento de metales (el contexto de minería que dio origen a la teoría del flogisto). Alineados en el estante superior y en la mesa de trabajo del centro, con sus cajones para especímenes, se muestran instrumentos de origen alquímico, predecesores de sus equivalentes químicos. Entre la mesa y la ventana, el investigador ha dispuesto aparatos mecánicos, como delicadas balanzas, para probar la pureza de las sustancias. Estos instrumentos indican hasta qué punto, tanto en Inglaterra como en el continente, la precisión en las mediciones era esencial para la evaluación del oro, la prescripción de drogas y otras artes anteriores a la química científica.

A lo largo del siglo XVIII, la química fue una disciplina práctica, no teórica. Los químicos se apartaron poco a poco de los alquimistas al rechazar las especulaciones más arcanas e insistir en la utilidad de su arte (sí, arte y no ciencia, lo que implicaba una destreza técnica, en contraste con los conocimientos eruditos). Aprovechando las técnicas y los instrumentos desarrollados por la alquimia a lo largo de los siglos, los químicos se centraron en la preparación de productos útiles, como tintes, medicinas, fertilizantes, blanqueadores, cemento o gas de hulla. En Inglaterra, Keir, Wedgwood y otros fabricantes utilizaron sus investigaciones químicas para desarrollar nuevos procesos industriales que aplicaban a sus prósperos negocios. Al otro lado del canal de la Mancha, la cuantía de los fondos invertidos por el estado era superior; durante el período revolucionario, la financiación se dedicó a las necesidades militares del país. Lavoisier estaba a cargo de la fábrica de pólvora de París, y era responsable de la producción artificial de los ingredientes básicos que ya no podían importarse debido a la situación política.

Las nuevas teorías químicas llegaron después de la investigación de aplicaciones prácticas, no antes. Por ejemplo, hacía tiempo que los alquimistas conocían el ácido sulfúrico, pero en esa época se empezó a fabricar en grandes cantidades para su uso industrial, a pesar de que nadie sabía cómo funcionaba el proceso de fabricación ni por qué era tan eficaz. El descubrimiento del oxígeno (o aire desflogisticado) en sí no se percibió de inmediato como algo transcendental, porque era parte de la búsqueda colectiva de gases que tenía lugar a mediados del siglo XVIII. Incluso la idea de que el aire corriente es una mezcla de otras sustancias, no un elemento por sí mismo, se originó como subproducto de la búsqueda de drogas para disolver cálculos renales. El descubrimiento surgió de forma inesperada durante una investigación al estilo de Priestley, cuando un estudiante escocés llamado Joseph Black hizo caso omiso de las instrucciones de sus profesores y decidió investigar unas extrañas discrepancias que un pesaje minucioso había puesto de manifiesto. Sin tener en mente un resultado final, Black siguió el camino que le iban trazando los resultados de sus experimentos y llegó a la conclusión de que el *aire fijo* (dióxido de carbono) atrapado en ciertas sales puede liberarse mediante ácidos o calor.

A finales del siglo XVIII, la química se estaba convirtiendo en una ciencia independiente. Aunque los químicos seguían utilizando las técnicas tradicionales desarrolladas por los alquimistas, artesanos y boticarios, estaban empezando a ganar prestigio y a ser reconocidos por organizaciones oficiales

como la Royal Society. Pero su nueva categoría no les vino dada gratuitamente: tuvieron que trabajar duro para lograrla. La caricatura de Gillray de la Figura 26 no solo se burla del propio Davy, sino también de la impertinencia de los experimentadores químicos. La química, mancillada por sus orígenes alquímicos, su uso práctico en los procesos industriales y sus vínculos con la Revolución Francesa, era considerada inferior a la filosofía natural. Para convertirla en una ciencia respetable a la altura de las demás, Davy tuvo que despojar a la química de estas asociaciones y elevarse él mismo a una posición de autoridad.

Para conseguirlo, Davy se apartó del punto de vista democrático hacia la ciencia apoyado por Priestley y otros químicos de la Lunar Society y se convirtió en una figura similar a Lavoisier, un experto que utilizaba poderosos dispositivos. Para lograr esta transformación, Davy se hizo indispensable tanto en la Royal Society como en la Royal Institution. También empezó a utilizar un nuevo instrumento que había inventado en Italia Alessandro Volta (cuyo nombre se conserva en la palabra «voltaje», por ejemplo), una forma primitiva de batería eléctrica con la que Davy pudo fraccionar el agua y aislar nuevos elementos, como el sodio y el potasio. Para Davy, la pila de Volta no era únicamente una fuente de energía milagrosa, sino también «la llave que promete abrir de par en par algunos de los rincones más ocultos de la naturaleza»[65]. Mediante el control de este impresionante aparato de gran tamaño para producir espectaculares efectos, Davy convenció al público de que él era la persona idónea para poseer esa llave. En la química científica del siglo XIX, los espectadores observaban cómo los especialistas efectuaban los experimentos; solo ellos poseían la autoridad para crear y dispensar el conocimiento científico.

Así que, para resumir la revolución química: tuvo lugar en… bueno, ¿cuándo? ¿Fue en 1789, cuando Lavoisier publicó su nueva doctrina química? En realidad, pasaron muchos años antes de su aceptación generalizada; y, de hecho, una parte de ella está equivocada. El suceso clave fue… bueno, ¿cuál fue? ¿La identificación del oxígeno por Lavoisier, el aislamiento de ese mismo gas por Priestley, el descubrimiento del aire fijo por Black o el análisis del agua por Davy? Las respuestas a estas preguntas existen, pero no son muy emocionantes: ninguna persona fue la única responsable, y no hubo un único momento fundamental; el cambio tuvo lugar de forma gradual. Cuanto más se intenta delimitar la revolución química, más elusiva es. Cuanta más información se tiene en consideración, menos significativo parece cualquier

episodio concreto. Cuanto más atención se pone en el examen del héroe, menos excepcional parece su conducta.

Si hablamos de revoluciones en ciencia, la revolución química no parece tan significativa como otras tres: la científica, la industrial y la darwiniana. Estas tres nos resultan tan familiares que nos parecen episodios reales con un principio y un final, pero —como ilustra la historia de la química— la definición de las revoluciones científicas es tan difusa que últimamente los historiadores están negando su existencia. Uno de los problemas es su duración. La más famosa, la revolución científica, se suele datar desde 1550 —justo después de que Copérnico sitúe el Sol en el centro del Universo— hasta 1700 —un año redondo, poco después de la publicación de los *Principia de Newton*—. Así mismo, aunque Charles Darwin ha dado su nombre a una revolución, las ideas evolutivas ya eran comunes incluso en la época de su abuelo, y no fue hasta la década de 1930 cuando se formuló una teoría darwiniana con todas las de la ley.

Otro problema es que no todos los cambios son simultáneos. Los relatos de la revolución científica (de la que no se ha hablado en este libro) se centran en la cosmología, ignoran la continuidad en otros campos como la química e imaginan que la ciencia (sea lo que sea eso) funciona en una especie de vacío cultural y no se ve afectada por el comercio, la política o las transformaciones sociales. En cualquier caso, ¿hasta qué punto tiene que ser drástico un cambio para que se considere revolucionario? Albert Einstein afirmaba que había revolucionado la física con su teoría de la relatividad, pero muchas disciplinas científicas (por no hablar de la vida cotidiana) siguieron utilizando la mecánica de Newton. Harvey reformó la fisiología al demostrar la circulación de la sangre, pero también era un aristotélico convencido y su impacto en las prácticas médicas fue reducido: el tradicional sangrado siguió utilizándose como remedio estándar.

Dividir la historia en revoluciones tiene sus ventajas. Añaden espectáculo, y ofrecen cómodos indicadores para situar las principales tendencias. Y lo más importante, los propagandistas crean las revoluciones *a posteriori* para distinguirse del período anterior y, se supone, inferior. Los economistas victorianos hacían hincapié en la revolución industrial porque querían establecer una ruptura definitiva entre su propia y progresista era y los orígenes feudales del país. La revolución científica no empezó a prevalecer en los relatos de la historia hasta después de la segunda guerra mundial, cuando los historiadores predecían con optimismo (y sin mucho acierto) que la ciencia uniría al mundo en una fe secular universal.

Aparte de su significado histórico, el concepto de cambio revolucionario tiene implicaciones filosóficas. Muchas personas consideran que el conocimiento científico es una Verdad Absoluta, y asumen que la ciencia es acumulativa y progresiva, algo similar a una carrera de relevos o una expedición de escalada en que los científicos heredan los logros de sus predecesores para avanzar de forma continua. Por otra parte, en los modelos revolucionarios, la ciencia cambia de forma esporádica y abrupta, y los conocimientos anteriores no se incorporan como los escalones que han permitido llegar a la situación actual, sino que se desechan. Una analogía adecuada sería la de un árbol evolutivo ramificado en el que las viejas escuelas de pensamiento se echan por la borda cuando los jóvenes investigadores optan por tomar nuevas direcciones.

El principal defensor de esta teoría fue Thomas Kuhn, un físico y filósofo americano cuyo libro *La estructura de las revoluciones científicas*, publicado en 1962, afectó profundamente a la percepción de la ciencia. Kuhn quiso abarcar varias disciplinas académicas, lo que facilitó los ataques de los críticos. A los filósofos les gustaba la parte histórica, pera hallaban errores en sus teorías; los historiadores le encontraban el defecto del exceso de simplificación. Las ideas originales de Kuhn se han revisado hasta tal punto que ya no queda ningún seguidor de sus ideas originales; incluso el propio Kuhn renunció a algunas de sus opiniones iniciales. Sin embargo, su nombre simboliza el punto de vista actual de que la ciencia se desplaza de forma impredecible, sujeta, como otras empresas humanas y, por tanto, falibles, a influencias locales, intereses personales y presiones políticas.

La realidad de las revoluciones en ciencia depende de la forma en que uno decida mirar hacia el pasado. Max Planck, el científico más ilustre de Alemania a principios del siglo XX, sostenía que los cambios tienen lugar poco a poco, no como destellos súbitos: «Las innovaciones científicas de importancia no suelen producirse mediante la conversión lenta y gradual de sus oponentes: es muy extraño que Saulo se transforme en Pablo. Lo que sucede es que los opositores se van muriendo, y la generación que los reemplaza está familiarizada con las ideas desde un principio»[66]. Así mismo, las verdades históricas cambian con cada generación. Las revoluciones están ahora pasadas de moda en círculos académicos, aunque no es fácil renunciar a esta forma tan cómoda y conocida de estructurar el pasado.

6 - Racionalidad

> La Iglesia es partidaria del progreso tecnológico y lo acoge con amor, pues se trata de un hecho indudable que el progreso tecnológico viene dado por Dios y, por consiguiente, puede y debe conducir a Él.
>
> Papa Pío XII, mensaje navideño (1953)

Ebenezer Scrooge, Mr. Gradgrind, Mr. Micawber… El novelista Charles Dickens creó muchos personajes que estaban, como sus contemporáneos, obsesionados con los balances, los números y la aritmética. Los datos y las cifras dominaban la vida en la época victoriana; por eso el gobierno británico siguió invirtiendo dinero en el sueño del ingeniero Charles Babbage, un profesor de Cambridge famoso en la actualidad por su labor pionera de los ordenadores. En 1837, Babbage inició con gran optimismo el diseño de una máquina analítica, un inmenso aparato lleno de engranajes que pudiese hacerse cargo del tedioso trabajo de los calculadores humanos y generar montañas de tablas numéricas con una precisión de varias cifras decimales, aunque nunca logró completar un modelo totalmente operativo.

Babbage había empezado a hacer campaña por la cuantificación siendo un rebelde estudiante universitario que protestaba por el anticuado plan de estudios de sus profesores. Babbage y sus amigos se quejaban de que Cambridge se estaba quedando rezagado respecto de sus competidores del continente, y tenían la intención de poner al día la física en Gran Bretaña mediante la adopción de la estrategia matemática de los franceses, basada en el cálculo de Leibniz. Llevar la ciencia hacia las matemáticas puede parecer un paso evidente hacia la modernidad, pero a principios del siglo XIX, los hombres de ciencia británicos rechazaban el álgebra francesa, que trataba con símbolos abstractos en lugar de objetos tangibles, ligados a observaciones.

El círculo de estudiantes de Babbage instó también a sus profesores a que dejasen de aceptar los relatos bíblicos como verdades literales. En su lugar eran partidarios del deísmo, que sostiene (en líneas generales) que el Universo funciona con independencia de Dios, y por tanto se puede estudiar desde un

punto de vista racional sin apoyarse en Sus revelaciones escritas. El teórico más célebre de París, Pierre-Simon Laplace, ya había dado un paso más al eliminar por completo a Dios. Napoleón, que apoyaba la investigación científica con entusiasmo, le preguntó a Laplace por qué Dios estaba ausente en su cosmos; supuestamente, la respuesta de Laplace fue «Sire, no tenía necesidad de tal hipótesis».

A Laplace le gustaba denominarse a sí mismo «el Newton francés», pero el propio Newton no hubiese reconocido el árido universo de Laplace, gobernado por las fuerzas, en el que los átomos giran en trayectorias predeterminadas, sin guía divina alguna. Bajo la influencia de Laplace, la investigación científica prosperó en Francia a principios del siglo XIX, durante el mandato de Napoleón, y Babbage y sus colegas victorianos la consideraban una era dorada de la investigación científica. Aprovechando la financiación del estado y un sistema educativo orientado hacia la tecnología, Laplace reunió un poderoso grupo de investigadores para establecer un nuevo estilo de física ligado a las matemáticas. Modelando el Universo mediante ecuaciones, estos hombres se dedicaron a cuantificar sistemáticamente la ciencia al convertir las matemáticas y la medición en algo crucial para la física y la química.

El origen de la racionalización, sin embargo, no está en la escuela de investigación de Laplace, sino en las demandas de cambio social anteriores a ella. Antes incluso de la Revolución, con el rey aún en el trono, los filósofos de la política proclamaban que la razón era la clave del progreso. Su intención era reformar el gobierno mediante la aplicación a la nación francesa de las mismas leyes que Dios había desarrollado para el control de la naturaleza. Igual que el cosmos actuaba de forma ordenada siguiendo la ley de la gravitación de Newton, también la sociedad avanzaría armoniosamente si podíamos hallar reglas similares para describir la conducta humana. Los activistas políticos reconocían, claro está, que las emociones individuales y los intereses personales podían dificultar en gran medida la deducción de leyes precisas para las personas, cosa que no sucedía con los planetas. Para compensar esta inevitable falta de precisión, los reformistas con mentalidad matemática introdujeron la probabilidad en los procesos de toma de decisiones. En lugar de confiar en un juez falible o un excéntrico monarca, aspiraban a que los veredictos y las políticas se determinasen de forma colectiva, e idearon fórmulas para calcular los riesgos y contingencias que implicaba la aceptación del juicio de la mayoría en el caso de que no se pudiese alcanzar la unanimidad. La resolución de tales cuestiones legales y

administrativas exigía el desarrollo de nuevas teorías de la probabilidad, que más tarde se adaptaron para resolver problemas científicos. Laplace introdujo la probabilidad en la física para evaluar el distinto grado de verosimilitud que podía asignar a diferentes hipótesis y para hacer una estimación de los errores asociados a sus resultados.

Esta campaña nacional por la racionalidad se intensificó en Francia durante la década de 1790. A medida que los revolucionarios despojaban el país de la monarquía y sus instituciones aristocráticas, se pusieron en marcha para reorganizar la vida diaria según principios racionales y democráticos. Los cambios eran introducidos por comités, lo que se consideraba ideológicamente superior a la actuación individual, aunque tales comités seguían sujetos a la actuación de personas clave como el propio Laplace. En los carteles de propaganda de este período aparecen ciudadanos felices y bien alimentados midiendo telas, vino o madera con el nuevo sistema métrico, basado en la lógica decimal. Durante este efímero régimen, el tiempo se racionalizó con la introducción de semanas de diez días en años de diez meses; hasta nuestros días han llegado relojes con diez horas en la esfera, de cien minutos cada una. Los comités decimalizaron también el espacio, acabando con las medidas imperiales arbitrarias (como los galones, las libras y los acres) y sustituyéndolas por unidades métricas (litros, gramos, hectáreas) basadas en el dato objetivo del tamaño de la Tierra. En principio, un metro era la diezmillonésima parte de un cuadrante de meridiano, del Polo Norte al ecuador, lo que ofrecía la referencia fundamental para todo el sistema métrico. Las nuevas dimensiones se encargaron de determinarlas (por desgracia, sin demasiada precisión) dos astrónomos, que se aventuraron en una arriesgada expedición de siete años para medir una gran sección de longitud terrestre entre Francia y España. A su vuelta, se construyó un metro de platino que se guardó en París; era algo más corto de lo que debía haber sido, pero aun así se trataba de un símbolo político del enfoque racional del país con respecto a la naturaleza.

Aunque con la unificación Francia se hizo más eficiente, en cierto modo la Revolución simplemente sustituyó un conjunto de reglas por otro. A pesar de la retórica revolucionaria sobre la igualdad, el sistema métrico recuperó la situación de control centralizado por parte de un grupo; la otra cara de la moneda de la unificación es la uniformidad. Anteriormente, las distintas regiones del país utilizaban sus propios métodos de medida; sin embargo, cuando los burócratas parisinos introdujeron su sistema racional, eliminaron las variaciones locales e impusieron a todo el país un único régimen

metropolitano. El calendario y las unidades de medida únicas de Francia no solo aislaron a la nación del resto del mundo, sino que enojaron a sus propios habitantes. Los obreros se quejaban de la mayor longitud de la semana de trabajo impuesta por el nuevo calendario; los cristianos contemplaron horrorizados la abolición del domingo, y los compradores acusaron a los comerciantes oportunistas de aumentar sus beneficios manipulando la conversión de los precios. En el año XIV del nuevo sistema, Napoleón volvió a instaurar la fecha convencional de 1806 y también las unidades habituales; no fue hasta finales del siglo XIX cuando Europa se hizo métrica.

Otras reformas de racionalización también tuvieron efectos secundarios no deseados. Por ejemplo, la salud de la nación mejoró de forma espectacular con la construcción de hospitales pagados por el estado que trataban gratuitamente a los leales ciudadanos. Las salas eran grandes y espaciosas, con un único paciente por cama, y el uso de desinfectantes químicos contribuyó aún más a reducir las infecciones. Al tener agrupados a los pacientes, los médicos podían seguir con más precisión el curso de una enfermedad, registrar los síntomas y comparar numéricamente los efectos de diversos tratamientos. En estas clínicas ilustradas, los médicos podían acumular observaciones para adquirir una pericia que les permitiese ir más allá de los síntomas superficiales y discernir la realidad subyacente. Por otra parte, la eficacia de los métodos de diagnóstico y terapia tendía a reducir los cuidados personalizados que hasta entonces caracterizaban el tratamiento médico; los pacientes empezaron a convertirse en casos numerados de enfermedades en lugar de personas individuales con desequilibrios propios en sus humores personales. Los médicos profesionales recibían una rigurosa formación y evaluación, pero desplazaron a los sanadores tradicionales, como herboristas y comadronas, de modo que la formación empezó a quedar restringida a una capa social de graduados universitarios hombres y adinerados. Cuando se convierte a los médicos en expertos omniscientes, es muy difícil contradecir sus dictámenes.

Así mismo, el sistema educativo estatal afirmaba ser democrático, pero en la práctica estaba abierto únicamente a los privilegiados. Desde antes de la Revolución, las escuelas militares ofrecían unos estudios mucho más orientados hacia las matemáticas que en Inglaterra. Comprometidos con la mejora tecnológica, los gobiernos sucesivos asignaron gran cantidad de fondos a las academias de ingeniería, que daban una sólida educación a hombres (sí, hombres) que influyeron con su visión racional en numerosos campos: arquitectura, sistemas de comunicación, investigación científica,

maquinaria. Los exámenes se basaban en las habilidades matemáticas; se consideraba que era la mejor forma de obtener una medida objetiva (y, por tanto, democrática) de la aptitud. Pero la adquisición de una formación de buen nivel tenía un alto coste, tanto en tiempo como en dinero, lo que significaba en la práctica que solo los estudiantes de familias ricas podían alcanzarla. A principios del siglo XIX, la antigua aristocracia hereditaria había sido sustituida por una nueva élite basada en la fortuna y en la inteligencia.

Algunos de los más talentosos de estos ingenieros graduados con formación matemática se vieron atraídos al grupo de investigación establecido por Laplace y su buen amigo Claude Berthollet, un médico y químico que vivía —lo cual era bastante cómodo— en la puerta de al lado, en Arcueil (a las afueras de París), una localidad que se convirtió en el centro de la ciencia napoleónica. Aunque su educación fue anterior a la Revolución, ambos hombres habían impartido clases en escuelas técnicas, ambos habían participado en los proyectos de reforma de la química impulsados por Lavoisier y ambos creían que las fuerzas ocultas de la naturaleza se originan en los potentes enlaces entre partículas diminutas. Estos dos científicos, que disfrutaban de una buena posición económica, podían influir en los comités y canalizar financiación hacia sus acólitos preferidos (el mecenazgo seguía teniendo una gran importancia en el nuevo régimen). Juntos, Laplace y Berthollet reunieron un equipo de dotados discípulos que pronto extendió y consolidó el enfoque matemático de Laplace al aplicarlo a otros fenómenos. Pero, al cabo de unos años, las reservas expresadas por personas externas a esta camarilla se convirtieron primero en desafíos y luego en refutaciones, y el plan de Laplace fue abandonado de forma abrupta.

Laplace era un hombre de carácter, en más de un sentido. No solo imponía sus propias ideas a sus seguidores, sino que creaba sus modelos de la naturaleza de modo que se ajustasen a sus ideas preconcebidas, y concebía el mundo en términos de fuerzas de corto alcance. Su genio, comentaba un escéptico inglés, era como un enorme mazo capaz de aplastar los enigmas matemáticos pero «incapaz de dar refinamiento o belleza a los resultados»[67]. Uno de los primeros logros de Laplace fue perfeccionar el newtonianismo más allá de la versión original del propio Newton. Este pensaba que, a menos que Dios interviniese ocasionalmente, las interacciones gravitatorias entre los planetas acabarían por desestabilizar el sistema entero. Mediante una ingeniosa aplicación de las matemáticas, Laplace demostró que Newton se equivocaba, lo que le permitió, para consternación de Napoleón, prescindir de Dios. A partir de entonces, Laplace adaptaba sus resultados a su propia

variedad reformada de newtonianismo. Su intención era reivindicar su herencia, no iniciar un esquema original propio.

En el cosmos de Laplace, las fuerzas mandan. Las moléculas se atraen y repelen entre sí y, si se conocía el estado inicial, siempre era posible calcular dónde se iba a encontrar cada molécula en el futuro. Era un modelo determinista, en el que el comportamiento está implacablemente gobernado por fuerzas abstractas matemáticamente predecibles. Según la versión de Laplace del newtonianismo, la materia ordinaria (metal, hueso, sal) se mantiene cohesionada por fuerzas de atracción que actúan a una distancia muy limitada entre partículas diminutas. Aparte de estas moléculas ordinarias, otras especiales componen los fluidos invisibles, como la luz, el calor y la electricidad. Dentro de estas sustancias etéreas, las partículas próximas se repelen entre sí, aunque se ven atraídas por las partículas ordinarias. A partir de estos conceptos básicos, Laplace aspiraba a formular una estructura matemática sofisticada con la finalidad de unir toda la física terrestre.

Laplace trabajó en una impresionante variedad de cuestiones en física y química, y se aseguró que los mejores empleos los obtuvieran las personas que justificaban las propias ideas de Laplace. Encontramos un ejemplo muy patente en el campo de la óptica. Rechazando las objeciones de sus críticos, Newton sostenía que la luz no es una onda similar al sonido, sino un flujo de diminutos corpúsculos. Laplace dirigió a uno de sus más brillantes pupilos, Etienne Malus, hacia el estudio del espato de Islandia, un singular cristal que crea imágenes dobles al mirar a través de él. Como preveía, Malus logró confirmar la opinión de Laplace, que coincidía con la de Newton, mediante el desarrollo de una explicación corpuscular matemática. Y sin embargo, al tiempo que Malus triunfaba en la confirmación de la gloria de Arcueil, los experimentadores de otros centros fuera del control directo de Laplace estaban empezando a rebelarse contra su dominio. A partir de 1815, una visión alternativa de la luz empezó a imponerse, después de que Augustin Fresnel utilizase sus experimentos sobre difracción para poner al descubierto los problemas del trabajo de Malus y demostrar que —contra la opinión de Newton— la luz es transportada por ondas. Después de que Fresnel ganase adeptos incluso en la bien avenida comunidad científica parisina, los comités ya no se dejaron persuadir por Laplace para que aceptaran a sus candidatos. Y, después del desprestigio de la visión laplaciana de la luz, los ataques se extendieron a otras áreas: calor, electromagnetismo, química. En 1825, el poder científico de Francia ya no surgía de Arcueil.

El círculo de Laplace se desintegró, pero su huella en el futuro de la ciencia ya era indeleble. Avanzado el siglo XIX, el sistema métrico al que había dado su apoyo resucitó, y se creó en Francia una oficina internacional con el objetivo de establecer unidades de medida estándar. Sin embargo, los oponentes de Laplace siguieron dictando el camino de la investigación en Francia y decidieron desechar su audaz enfoque hipotético para centrarse en la meticulosidad de las observaciones. Poco a poco, Francia perdió su liderazgo en el campo de la física teórica. Por otra parte, la campaña planteada por Babbage y sus compañeros de Cambridge se vio coronada por el éxito; así, aunque los científicos británicos abandonaron el modelo laplaciano de fuerzas de corto alcance, sí adoptaron su enfoque matemático. Parece irónico que desarrollaran también sus trabajos en teoría de probabilidades, que dieron como resultado un nuevo tipo de física basada en la estadística y en los sucesos aleatorios; las cuidadas evaluaciones a las que Laplace sometía las pruebas experimentales acabaron por socavar su propio cosmos totalmente predecible.

El auge y la caída de Pierre-Simon Laplace no solo tuvieron que ver con sus teorías, sino también con las maniobras de sus aliados y enemigos. Igual que otras actividades humanas, la práctica científica se ve afectada por la ambición, la autocomplacencia y el oportunismo. Con el objeto de lograr un lugar destacado y resultados rápidos, Laplace dominó a sus propios colegas, manipuló los comités científicos para promocionar a sus discípulos y se aprovechó de la centralización administrativa de Francia para asegurarse de que sus doctrinas se vieran perpetuadas en los libros de texto y en los programas de estudios. Fuera de Arcueil y de su control directo, los críticos de Laplace utilizaron tácticas similares para consolidar su derrota, editando revistas influyentes, ejerciendo presión durante elecciones de puestos científicos o adquiriendo puestos de importancia en la enseñanza. La suerte que corrió esta persona no tiene tanta importancia como su impacto a largo plazo: su punto de vista racional y matemático fue adoptado por los físicos británicos y alemanes durante el siglo XIX y sigue siendo prevalente en la ciencia actual.

7 - Disciplinas

> ¿Por qué Inglaterra es una gran nación? ¿Es acaso por el valor de sus hijos? No, pues también son valerosos los salvajes de la Polinesia: Si es grande es porque su valor se ve reforzado por la disciplina, y la disciplina es el vástago de la Ciencia.
>
> William Grove, *Acerca del progreso de las ciencias físicas* (1842)

«Cualquier salvaje puede bailar», declaraba el personaje de Mr. Darcy creado por Jane Austen en *Orgullo y prejuicio*. La respuesta de su contrincante nos parecería ahora extraña: «No me cabe duda de que vos sois un experto en esta ciencia, Mr. Darcy»[68]. «Ciencia» es una de las palabras más escurridizas de la lengua inglesa, porque, a pesar de que lleva siglos en uso, sus significados cambian constantemente y son imposibles de precisar. El uso del plural (*significados*) ha sido deliberado. A principios del siglo XIX, cuando Austen menciona de manera informal la ciencia del baile, otros escritores utilizaban también la palabra «ciencia» para hablar de las materias medievales de la gramática, la lógica o la retórica. Mucho tiempo después, el significado de «ciencia» seguía abarcando cualquier disciplina académica, porque la moderna distinción entre artes y ciencias aún no había cuajado. El crítico de arte victoriano John Ruskin hablaba de cinco especialidades que debían estudiarse en la universidad: las ciencias de la Moral, la Historia, la Gramática, la Música y la Pintura, ninguna de las cuales aparece en los programas de estudios científicos modernos. Todas ellas, declaraba Ruskin, exigían más del intelecto que la química, la electricidad o la geología.

Fuera cual fuese la habilidad de Mr. Darcy en la ciencia del baile, Austen nunca podría haberlo llamado científico. Esta palabra, tan común en la actualidad, no se inventó siquiera hasta veinte años más tarde, en 1833, durante la tercera reunión anual de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia (BAAS, British Association for the Advancement of Science). Los delegados de la conferencia bromeaban sobre la necesidad de encontrar una palabra que abarcase sus diversos intereses. El poeta Samuel Taylor Coleridge

rechazaba la palabra «filósofo»; William Whewell, matemático en Cambridge y uno de los aliados de Babbage, sugirió «científico» en su lugar.

La nueva palabra tardó mucho tiempo en imponerse. Numerosos victorianos seguían utilizando expresiones antiguas como «hombre de ciencia», «naturalista» o «filósofo experimental». Incluso los hombres actualmente considerados como los científicos más eminentes del siglo, —Darwin, Faraday, lord Kelvin— rechazaron el uso del nuevo término para hablar de sí mismos. ¿Para qué, decían, inventar una palabra tan fea cuando ya existían expresiones perfectamente adecuadas? Los críticos se quejaban erróneamente de que la palabra «científico» había sido importada de América (un neologismo transatlántico); un célebre geólogo declaró que prefería morir antes que «brutalizar nuestra lengua con tales barbarismos»[69]. El debate seguía vivo sesenta años después de que Whewell mencionase su idea por primera vez, y no fue hasta principios del siglo XX cuando la palabra «científico» quedó plenamente aceptada.

En América, la nueva palabra se adoptó de inmediato. En Gran Bretaña, sin embargo, la oposición se prolongó durante décadas. Parece ahora irónico que parte del problema consistiese en que los experimentadores como Davy habían tenido un éxito casi excesivo al establecerse como expertos. Aunque conocían en profundidad sus propias disciplinas, sus dificultades en mantenerse al día en otras áreas eran cada vez mayores. Whewell pensaba que la condición de experto implicaba una limitación; le preocupaba que, a medida que los especialistas profundizaban cada vez más en sus disciplinas perdiesen la visión de la unidad global de la ciencia y la capacidad de comunicarse entre sí con eficacia. En una nostálgica reflexión sobre una época pasada en la que los eruditos podían abarcar todos los campos del conocimiento de la naturaleza, Whewell instaba a los investigadores a unirse para conservar la integridad de la comunidad científica. Si se identificaban a sí mismos como científicos, proclamaba, podían distinguirse de los artistas, escritores y músicos, que luchaban también para lograr un mayor reconocimiento de su estatus.

El dinero era una cuestión polémica en estos debates. Los partidarios de la nueva palabras sostenían que, si los individuos se agrupaban como científicos, aumentarían su capacidad de presión para persuadir a los gobiernos o a las grandes empresas para que financiasen sus proyectos de investigación, cada vez más ambiciosos y costosos. Por otra parte, los caballeros bien relacionados se veían a sí mismos como miembros de un grupo de élite que se dedicaba a la búsqueda del conocimiento por sí mismo. Incluso aquellos cuya

cuna no era aristocrática ni de fortuna percibían el hecho de ganarse la vida como un comportamiento sórdido, y miraban con desdén a los emprendedores que convertían su actividad científica en un negocio.

La virulencia de las discusiones sobre el concepto de «científico» en el siglo XIX se debía a que no era únicamente una palabra lo que estaba en juego. La nueva etiqueta indicaba cambios en las clases, el dinero y el estatus, transformaciones sociales que las castas privilegiadas hallaban difíciles de aceptar. En cierto sentido, los hombres de ciencia nobles cayeron víctimas del éxito, porque la responsabilidad de la democratización de la ciencia fue, en parte, suya. Ansiosos por dar a conocer los beneficios de sus actividades, se aseguraron de que el conocimiento científico estuviese a disposición de una parte mucho más grande de la población y dejase de ser el patrimonio de unos cuantos señores privilegiados. Con la expansión y el crecimiento de la investigación y la educación surgieron también nuevas oportunidades para obtener empleos pagados como asistente de laboratorio, conservador de museo o calculador astronómico. Paulatinamente, la ciencia se convirtió en una profesión remunerada al alcance de muchos, en lugar de una absorbente ocupación para ociosos. Finalmente, el calificativo «científico» dejó de murmurarse con desdén y adquirió respeto.

El término «ciencia» se utilizaba para referirse a disciplinas que habían tenido desarrollos muy dispares. Algunas de ellas (la astronomía, la óptica, la mecánica) surgían directamente de los programas de estudios universitarios medievales: aunque a lo largo de los siglos habían cambiado poco a poco, no era difícil ver cómo sus raíces abarcaban un amplio período de tiempo. Por otra parte, aunque la química era una de las nuevas ciencias, sus orígenes no se hallaban en abstrusos estudios académicos, sino en las prácticas cotidianas de la alquimia, la medicina y las labores artesanas. Así mismo, la palabra «biología» no se inventó hasta principios del siglo XIX, pero la nueva especialidad heredó una enorme cantidad de minuciosos conocimientos de los herboristas, los comerciantes y los coleccionistas (tanto mujeres como hombres).

No todas estas nuevas ciencias disfrutaban de linajes tan antiguos. La geología, por ejemplo, era una disciplina de nuevo cuño, cuyo nacimiento se sitúa en 1807 con la fundación de la primera sociedad científica especializada. El deseo de los geólogos de estudiar la estructura de la Tierra por sí misma, sin intención de obtener un provecho concreto, era relativamente reciente. Antes, diversos grupos de personas habían acumulado sus propios conocimientos especializados al respecto: mineros, capaces de detectar e

identificar minerales metálicos; prospectores, que elegían las mejores rutas para tender carreteras; granjeros, que sabían qué cosechas plantar en los distintos tipos de suelo; soldados, que elaboraban mapas del terreno de las zonas que tenían intención de conquistar (la Ordnance Survey, el servicio oficial de cartografía, se fundó en Escocia, no en Inglaterra, con la finalidad de facilitar la represión de los rebeldes jacobinos). No fue hasta el siglo XIX cuando el coleccionismo de especímenes geológicos se puso de moda entre la clase media, que se divertía golpeando las rocas con sus martillos para obtener muestras de minerales y fósiles, que con frecuencia habían quedado al descubierto durante las obras de construcción de canales y vías de ferrocarril. Pero la geología se convirtió también en una ciencia seria que estimuló la aparición de las teorías evolutivas por su desafío a la versión bíblica de la Creación.

El electromagnetismo, la disciplina que dominó la ciencia del siglo XIX, también era una novedad. Aunque actualmente la electricidad y el magnetismo forman un todo inseparable, solían tratarse como dos fenómenos totalmente distintos. Como fuerzas de la naturaleza, su comportamiento era muy dispar: la electricidad producía chispas y podía causar daño, mientras que el funcionamiento del magnetismo era invisible y afectaba al hierro, no a las personas. Además, lo que se sabía de ellos contrastaba de forma muy llamativa. La electricidad era una emocionante innovación del siglo XVIII, utilizada por los filósofos experimentales para captar la atención del público con sus espectaculares representaciones. El magnetismo, en cambio, era uno de los misterios tradicionales de la naturaleza, un poder otorgado por Dios que los navegantes sabían aprovechar, pero básicamente relegado por los filósofos naturales. Aunque algunos de ellos habían intentado comprender los caprichos del magnetismo, las brújulas y las limaduras de hierro no podían compararse con la fascinación ejercida por los chispazos y las descargas.

1820 es el año que simboliza el cambio, cuando Hans Oersted, un profesor de física de Copenhague, ideó una espectacular demostración para impresionar a sus alumnos: una aguja magnetizada se movía en respuesta al paso de una corriente eléctrica por una espira. Por toda Europa, los investigadores se pusieron a analizar este efecto, y Humphry Davy (que en aquel tiempo presidía la Royal Institution) pidió a su asistente, Michael Faraday, que le informara de sus progresos. Al cabo de unos meses, Faraday había ideado un pequeño instrumento engañosamente sencillo que supuso el vínculo definitivo entre electricidad y magnetismo. Lo que es más: Faraday demostró que se trataba de fenómenos simétricos: podía mover un imán

mediante una corriente, pero también hacer girar un cable eléctrico alrededor de un imán. La unión de los inventos eléctricos de los filósofos de la Ilustración y de los ancestrales conocimientos de los marineros supuso el nacimiento de una nueva disciplina científica: el electromagnetismo.

«Científico» era un término paraguas, pero no todo el mundo tenía permiso para resguardarse debajo de él. Ansiosos por adquirir prestigio, los científicos aspiraban a poseer la autoridad para declarar que sus razones eran incontrovertibles, que los conocimientos que generaban en sus laboratorios eran correctos e irrefutables. Se inventaban nuevas especializaciones, pero no todas se consideraban dignas de ser llamadas «ciencia». La ciencia se dividía en disciplinas, pero el término «disciplina» se aplica también al control. Como agentes de policía que protegieran las fronteras de la nación, los científicos disponían qué temas se hallaban dentro de sus dominios y a cuáles se les debía proscribir la entrada.

Mirando en retrospectiva, su veredicto parecía bastante sencillo de dictar, pero en aquel momento las cosas no estaban tan claras. La química se convirtió en una de las principales disciplinas científicas, pero la caricatura de Gillray (Figura 26) ilustra el menosprecio inicial hacia los químicos por su relación con la alquimia, la industria y la Revolución Francesa. A su vez, prácticas a las que ahora se calificaría de tonterías tuvieron en su momento muchos seguidores que afirmaban que eran ciencias. En principio, determinar si estas ciencias eran válidas debía haber sido un proceso racional de evaluación de su funcionamiento. Pero a menudo este no era el caso: con frecuencia se mezclaban prejuicios, prestigio y política. Tomemos el ejemplo del mesmerismo, o magnetismo animal, una terapia de éxito intermitente a lo largo del siglo XIX, El introductor original del sistema fue Franz Mesmer, que, en la década de 1780, afirmaba poder curar a las personas enfermas mediante la conducción de fluido magnético a través de sus cuerpos. Aunque sus rivales lo calificaban de charlatán, Mesmer amasó con rapidez una fortuna después de establecer su clínica en París. Los aristócratas ricos, muchos de ellos mujeres, acudían en tropel para recibir tratamiento, no solo porque el mesmerismo estaba de moda, sino porque parecía funcionar. En la Figura 30**[f30]** se muestra un grupo de pacientes agrupados alrededor de una bañera de madera ovalada llena de limaduras de hierro, imanes y otros ingredientes especiales. Mientras Mesmer dirige la operación desde el lado derecho con su batuta magnética, el hombre cojo de la izquierda ata su pierna a un aro de hierro para absorber el fluido magnético de la bañera; la mujer de la silla ha sufrido una crisis, un polémico efecto secundario inducido por la

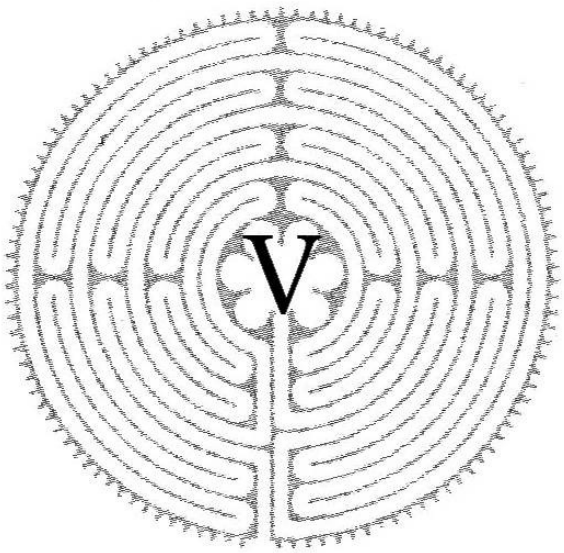
proximidad, la intensa mirada y los sugerentes movimientos de manos del propio Mesmer. Aunque los críticos le acusaban de conducta sexual inapropiada, Mesmer blandía impresionantes declaraciones juradas de clientes agradecidos que daban fe del éxito de su terapia.

El magnetismo animal poseía antecedentes respetables. Mesmer, un médico vienés perfectamente cualificado, obtuvo un doctorado por sus teorías, que había deducido de la gravedad de Newton. El origen de sus técnicas fue la costumbre de llevar imanes especiales en contacto con la piel, una terapia médica que un comité oficial francés había refrendado con entusiasmo. La circulación del nebuloso fluido magnético de Mesmer por la atmósfera puede sonar como algo estrafalario, pero no era más extraño en un nivel conceptual que el éter eléctrico del que hablaban los filósofos naturales más destacados de Europa. Y lo que es más importante: desde el punto de vista de sus pacientes, el relajante tratamiento de Mesmer los ayudaba a aliviar sus síntomas, y este era el motivo que los impulsaba a pagar sus tarifas.

El aparente peligro de Mesmer no tenía que ver con que fuese muy distinto de los otros médicos, sino precisamente con el hecho de que era lo bastante similar como para representar una amenaza real. En la actualidad, el mesmerismo podría calificarse de medicina alternativa, pero la situación hace doscientos años no era de blanco y negro. Incluso los médicos con mejor formación no tenían demasiado que ofrecer, y los pacientes desesperados estaban dispuestos a comprar lo que fuese con tal de aliviar los síntomas de las enfermedades incurables. Los médicos más famosos, ansiosos por acumular prestigio, se burlaban de sus competidores con menos formación tratándolos de embaucadores, a pesar de que ellos mismos comercializaban panaceas inútiles a precios desorbitados. Las cualificaciones de los médicos variaban de forma continua entre los dos extremos. Por un lado estaban los doctores de alta sociedad que habían asistido a la universidad, pertenecían a asociaciones profesionales y cobraban cuantiosos honorarios, y por otro había hombres y mujeres sin formación que intentaban ganarse la vida como podían cuidando de la salud de los pobres. Entre estas dos situaciones había todo tipo de profesionales para distintas condiciones y presupuestos: cirujanos, boticarios, herboristas, comadronas. La búsqueda de una autoridad en la ciencia implicaba la imposición de límites bien definidos entre la medicina oficial y el curanderismo, entre la ciencia ortodoxa y la pseudociencia. A falta de criterios abstractos para distinguirlas, las decisiones se basaban con frecuencia en criterios sociales.

Los competidores de Mesmer empezaban a intranquilizarse. A menudo incapaces de ofrecer un tratamiento eficaz, observaban mientras Mesmer les quitaba a sus pacientes más ricos. Enseguida empezaron a surgir prácticas similares por toda Francia. El mesmerismo podía enseñarse a hombres con una formación relativamente escasa, y esto hizo que la medicina magnética se asociase a la política radical y se viese como una amenaza a la posición social de los médicos tradicionales. Calificar a Mesmer de curandero era una forma de librarse de él, y se formó un comité real para justificar su exclusión. Tras una serie de investigaciones, el comité dictó sentencia: se le prohibió ejercer. Reconocía (lo cual es bastante revelador) que sus tratamientos funcionaban, pero lo censuraban por ser incapaz de ofrecer justificación racional alguna. El comité atribuía las curas mesméricas al poder de la imaginación, un efecto psicosomático que rechazaban porque no podía explicarse racionalmente.

Junto con la alquimia, la astrología y otras muchas prácticas, el mesmerismo quedó finalmente desterrado de la ciencia legítima y —a pesar de ser un médico con formación—, Mesmer fue tildado de curandero. Aun así, las sociedades mesméricas prosperaron durante todo el siglo XIX, debido en parte a que se trataba de una terapia democrática que las perdonas normales podían llevar a cabo. Las implicaciones de esta situación eran revolucionarias: los magnetizadores ejercían poder sobre sus pacientes; ¿qué podía pasar entonces si el control se iba de las manos de las clases privilegiadas? Lo que es peor: con el hecho de que Mesmer afectara a la salud física de sus pacientes influyendo en su imaginación, la supremacía de la razón quedaba en entredicho. Se trataba de una terrible perspectiva: la filosofía de la objetividad científica sostenía que los racionales hombres de ciencia podían utilizar sus mentes para ejercer disciplina sobre sus cuerpos. Las disciplinas científicas debían basarse en la razón y el orden, en la lógica y las explicaciones. Se suele denominar al siglo XVII la Era de la Razón, y los filósofos de la Ilustración legaron esta pasión por la racionalidad a los científicos que les sucedieron. La meta de los científicos del siglo XIX, con formación de expertos y organizados en disciplinas especializadas, era unificar y ordenar el mundo mediante la búsqueda de leyes simples que describiesen todos los comportamientos, tanto de personas como de objetos, tanto de mentes como de cuerpos.



Leyes

Los científicos del siglo XIX, comprometidos con el progreso, emprendieron la búsqueda de las leyes que gobernaban tanto el mundo físico como el humano. Su prestigio como expertos aumentó gradualmente, a costa de los líderes religiosos, para crear la nueva casta sacerdotal de la ciencia. No obstante, por mucho que los científicos quisieran dar la imagen de acérrimos defensores de la razón, las actitudes teológicas siguieron dominando los debates acerca de la vida y el Universo; no hubo cambio súbito alguno de la fe bíblica a la convicción científica. Los científicos sostenían que la observación objetiva del mundo podía conducirles a la Verdad Absoluta, pero este punto de vista fue puesto en entredicho por los filósofos románticos alemanes, que ponían el énfasis de un cosmos unificado en el que los seres humanos se hallan integrados en el mundo natural. Aunque su influencia no llegó al nivel de la de los campeones de la precisión imparcial y las leyes matemáticas, las actitudes de los ecologistas modernos no dejan de ser un reflejo de esa postura. Los juicios personales seguían invadiendo subrepticiamente la ciencia supuestamente neutral. Aunque los instrumentos estaban pensados para eliminar el error humano, su uso implicaba de forma inevitable una evaluación subjetiva. Ni siquiera la más famosa de las innovaciones de la época —la teoría de la evolución mediante selección natural de Charles Darwin— era un análisis lógico, sino que dependía de la acumulación de pruebas que la corroborasen, no de la aportación de una

demostración incontrovertible. En lugar de expandirse de forma uniforme por el mundo, la ciencia estaba sujeta a variaciones geográficas, y su desarrollo se efectuaba a través de procesos locales de adaptación e intercambio. En principio, la colaboración científica internacional debía trascender las diferencias políticas, pero la estandarización del tiempo fue una fuente de conflictos. No obstante, dio origen a la relatividad, una esotérica teoría enraizada en los problemas prácticos de la mejora de los sistemas telegráficos.

1 - Progreso

Dios hizo al hombre a Su imagen y semejanza, pero al Público lo hicieron los Periódicos.

Benjamín Disraeli, *Coningsby* (1844)

Un soleado día de otoño de 1858, un distinguido grupo de dignatarios científicos, políticos y religiosos encabezaban una procesión por las calles de Grantham, una pequeña localidad inglesa de provincias. Acompañado por la música de una banda militar, el octogenario Henry Brougham —barón y eminente juez escocés— subió a una tarima decorada con los colores del arco iris y se sentó en un desvencijado sillón que estaba empezando a perder el relleno. Esta reliquia, que se había dejado sin restaurar de forma deliberada, había pertenecido a Isaac Newton, héroe local elevado al reconocimiento de toda la nación. Brougham estaba a punto de descubrir una estatua de Newton forjada a partir de un cañón ruso capturado durante la guerra de Crimea y donado por la reina Victoria en persona.

La erección de la estatua de Newton era un acontecimiento transcendental que se mencionó en la prensa de todo el país; la Figura 31**[f31]** fue reproducida en diversos periódicos. Aunque las esculturas de monarcas, santos y líderes militares abundaban en toda Europa, la conmemoración de una figura de la ciencia era una novedad. La ceremonia organizada en Grantham indica hasta qué punto se había elevado el estatus de la ciencia en la primera mitad del siglo XIX, cuando Newton era aclamado como héroe nacional, el homólogo científico de William Shakespeare. El colosal monumento de Newton, financiado mediante donaciones procedentes de todo el país, es uno de los primeros ejemplos de la industria británica del patrimonio, con la que los científicos pretendían provocar el entusiasmo del público por la ciencia y estimular las oportunidades de financiación.

Esta escultura no solo representa el aspecto con el que se imaginaba a Newton, sino que también la forma idealizada del comportamiento de los físicos de la época victoriana. Newton, admirado por su resulta dedicación, personalizaba al científico metódico, el férreo y lógico buscador de la Verdad

Absoluta. Esta dominante figura, vestida con indumentaria formal de profesor universitario, señala un diagrama planetario, emblema de las tres leyes del movimiento y del orden matemático del que había dotado al Universo. «¡Buscar las leyes!», resumen de una conferencia pronunciada por Faraday en la Royal Institution, se convirtió en el *leitmotiv* de la ciencia del siglo XIX. El objetivo principal de los físicos victorianos era explicar el mundo en términos matemáticos, para unir sus ramas aparentemente dispares (calor, luz, mecánica, electricidad) en un único sistema. Así mismo, los científicos de otros campos aspiraban a adoptar este enfoque para describir el comportamiento de las sociedades, el cambio del paisaje terrestre o el funcionamiento de los organismos vivos. De igual modo que Dios ejerce control a través de las leyes morales o los gobernantes mantienen la disciplina a través de la legislación del estado, Newton había impuesto la regularidad en el cosmos al descifrar las leyes de la naturaleza, un triunfo matemático que los científicos de la época aspiraban a emular.

De pie ante la estatua de Newton, Brougham formuló su propia ley científica: la «Ley del progreso gradual». Igual que otros victorianos, Brougham creía que en el trabajo se hallaba la clave del éxito, y alababa las virtudes de la acumulación progresiva del conocimiento. La austera figura de bronce de Newton representaba la recompensa de la dedicación (y también inspiró a Margaret Thatcher, otra famosa adicta al trabajo de Grantham, en su recorrido cotidiano hacia el colegio). Para imbuir en sus espectadores la fe en el potencial de la ciencia, Brougham recorrió con elocuencia la historia del hombre. Newton, explicaba, había heredado los logros de sus predecesores y, mediante una tenaz dedicación desde muy joven, había sido capaz de llegar más lejos, de extender los límites del conocimiento teórico y —no menos importante— de allanar el camino para la máquina de vapor, motor de la supremacía industrial de la nación. Construyendo sobre el legado de Newton, declaró Brougham, los científicos conducirían a Gran Bretaña hacia un espléndido futuro.

El progreso era la cantinela habitual de la ciencia del siglo XIX. Sus defensores pronosticaban avances en muchos frentes: se formularían nuevas leyes, se explorarían y controlarían lugares aún desconocidos del planeta, las máquinas se harían mejores, mayores y más rápidas, el nivel de educación se incrementaría… Las promesas eran ubicuas. Parece significativo que, en la década de 1830, las teorías científicas condensasen la noción de progreso, contradiciendo el punto de vista tradicional de que Dios había creado el Universo tal y como es. Los geólogos describían una Tierra que se había

enfriado gradualmente desde su estado fluido original, los astrónomos sugerían que el Sistema Solar se había condensado a partir de remolinos de materia, y los primeros evolucionistas tenían el valor de proponer que las actuales plantas y animales no habían existido siempre.

Brougham era un veterano defensor de la ciencia y también un político astuto. Durante toda su vida se había dedicado a idear métodos para poner el conocimiento científico a disposición incluso de los más pobres. Cuando la Sociedad para la Difusión del Conocimiento Útil (SDUK, *Society for the Diffusion of Useful Knowledge*) empezó a publicar libros científicos a bajo precio, Brougham escribió una entusiasta introducción de la que se vendieron más de treinta mil copias, una cifra colosal para la época. Pero la meta de Brougham no era la igualdad de oportunidades. En lugar de animar a los trabajadores a demandar una educación universitaria, su esperanza era que una mejor comprensión de sus tareas les llevara a incrementar su productividad.

Puede que la SDUK parezca una organización filantrópica, pero la actuación de sus organizadores se regía por un plan oculto. Incluso el nombre elegido revela un sentimiento de superioridad, que implica que una élite de personas cede a las clases trabajadoras una información intelectualmente poco estimulante, pero que les facilitará llevar a cabo su trabajo de forma más eficiente (y así generar más beneficios para sus patrones). Las clases privilegiadas pretendían convencer a los obreros de que la ciencia conducía al progreso para reducir el riesgo de protestas políticas causadas por los bajos salarios o las deplorables condiciones laborales. Como bromeaba un escritor radical, Brougham quería que todos los ingleses leyeran a Bacon, mientras que lo que necesitaban era *bacon* en sus platos.

Muchas personas no solo se oponían a los planes de Brougham para educar a los trabajadores, sino también a su optimista enfoque acerca del progreso científico. «Hay que ver lo que mejora este mundo a medida que nos hacemos viejos», decía la satírica cabecera de una caricatura titulada *El desfile del intelecto*, un latiguillo popular de aquella época (Figura 32**[f32]**). En ella se muestran dispositivos que, a pesar de su aspecto absurdo, hacen referencia a proyectos de ingeniería de la época. La locomotora *Rocket* de George Stephenson acababa de ponerte en marcha, y los primeros pasajeros del tren estaban aterrorizados por la velocidad con la que estos «Caballos de vapor» (abajo a la derecha) atravesaban la campiña. En la viñeta central se muestran pasajeros subiendo a bordo de un ingenio volador propulsado por

vacío hacia Bengala; no pasarían ni veinte años para que similares tubos de propulsión entrasen en servicio en diversas líneas ferroviarias.

La potencia del vapor abarataba los productos manufacturados, pero también representaba una amenaza para las jerarquías. Con sus fantasías acerca de cuchillas de afeitar o artilugios voladores de vapor, este artista se burlaba de los críticos de las clases pudientes que cuestionaban el valor de las innovaciones tecnológicas, argumentando que la comodidad resultaría en decadencia moral y deterioro intelectual. Después de todo, si la masa de trabajadores podía permitirse educación, viajes y artículos de lujo, ¿acaso no dejarán de lado sus obligaciones? Los aristócratas adinerados tenían miedo de que el poder, erosionado, pasase a manos de los hombres hechos a sí mismos, los inversores industriales que estaban amasando grandes fortunas con rapidez; de ahí el cartel en latín que dice «Dios tiene en cuenta las manos puras, no las manos llenas» situado encima de la Patente Real de una máquina limpiabotas en el extremo inferior derecho. En algunas de las escenas aparecen obreros comportándose de forma inadecuada. El propietario de la máquina limpiabotas está cómodamente apoyado contra la pared leyendo un periódico francés, mientras un basurero y su desaliñado compañero se atiborran de platos exóticos, ignorando escandalosamente a una elegante dama que se refugia bajo la sombrilla que sostiene su sirviente negro.

Burlas aparte, la energía del vapor tuvo un impacto espectacular en el progreso científico. El mundo se hizo, a todos los efectos, más pequeño con la implantación de trenes y barcos rápidos, que hicieron que las personas, los conocimientos, los especímenes y los instrumentos se movieran más rápido que nunca. Y otra consecuencia esencial: el vapor revolucionó la industria editorial. La posibilidad de publicar libros y revistas baratos permitió que amplios sectores de la población pudiesen leer ciencia por primera vez. A medida que los procesos de producción se iban mecanizando, los precios del papel se reducían y la velocidad de impresión aumentaba. En la década de 1830, los editores se habían dado cuenta de que era comercialmente razonable vender cantidades grandes a precios bajos, algo que antes no era posible; no fue una casualidad que al mismo tiempo la SDUK y sus competidoras empezasen a prosperar.

Con la impresión barata, Brougham sabía que su discurso newtoniano alabando el progreso científico iba a alcanzar a todo el país. El mismo día ya se pusieron a la venta folletos conmemorativos, los periódicos imprimieron resúmenes de su conferencia y los grabados de la dominante estatua de Newton la llevaron mucho más allá de los confines de Grantham. Estas

nuevas oportunidades publicitarias ampliaron las posibilidades de promoción de los científicos, que modelaron la opinión pública para favorecer la inversión en sus viajes de exploración y sus proyectos de investigación. Al mismo tiempo, como se puede ver en la caricatura de *El desfile del intelecto*, sus críticos también se hicieron más visibles. En lugar de quedar restringidos a las figuras de autoridad, los debates sobre la ciencia y su impacto empezaron a tener lugar a la luz pública.

Estas posibilidades de difusión sin precedentes transformaron la ciencia. Una de las organizaciones con mayor influencia era la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia (BAAS, *British Association for the Advancement of Science*), que aprovechó las posibilidades de la edición a bajo precio para hacer publicidad de la ciencia con el objetivo de incrementar el número de personas dedicadas a ella. Fundada en 1831, la BAAS estimulaba a los investigadores para que hiciesen públicos sus hallazgos en reuniones provinciales celebradas una vez al año en distintos lugares del país, con vistas a favorecer el progreso. La Sociedad apoyaba las ideas de William Whewell, que reconocía las ventajas de formar una comunidad científica, y animaba a los experimentadores a unirse como científicos a fin de ejercer un mayor poder del que era posible desde cada disciplina por separado, además de ofrecerles la protección necesaria a falta de estructuras profesionales específicas.

Los hombres que decidían emprender una carrera científica carecían de un camino específico que seguir, y se veían obligados a forjarse sus propias carreras. Sin la seguridad laboral asociada con la ciencia profesional moderna, incluso los científicos célebres se hallaban en continuos problemas económicos. Thomas Huxley, por ejemplo, famoso en la actualidad como promotor de la teoría de la evolución de Darwin, se veía en constantes apreturas financieras. Muchos científicos trabajaban en sus casas. El ejemplo más famoso es el de Darwin, pero al parecer el físico de Cambridge lord Rayleigh tenía que desmontar cada día sus aparatos científicos de encima del piano para hacer sitio para las oraciones familiares. Incluso en las propias universidades, los profesores tenían que luchar por obtener las mínimas instalaciones; lord Kelvin convirtió una bodega abandonada en un laboratorio, pero este se veía constantemente invadido por el polvo de carbón del almacén adyacente. No fue hasta finales de siglo XIX, tras numerosas penalidades y esfuerzos por parte de muchas personas, que los recién graduados pudieron aspirar a convertirse en científicos profesionales asalariados.

Aparte del incentivo práctico de la actuación colectiva, los científicos del siglo XIX se veían también inspirados a la cooperación de forma teórica. Estos hombres creían en la interconexión de las ciencias, en que el avance hacia la Verdad Absoluta debía efectuarse desde varios frentes a la vez, no a través de hallazgos obviamente limitados en especialidades individuales. Estaban convencidos de que solo había un modo de hallar las leyes matemáticas unificadoras que gobernaban la naturaleza: la búsqueda sistemática. Fuera cual fuese su disciplina, los científicos afirmaban compartir un método común que caracterizaba su enfoque del mundo y que los distinguía de los no científicos.

Pero el marcar esta distinción les supuso problemas. Por un lado, los científicos intentaban consolidar su posición dando a conocer sus logros a fin de diseminar sus ideas, mejorar la educación científica y reclutar nuevos científicos. Conscientes del nuevo poder que suponía la edición a bajo precio, produjeron una amplia gama de libros y artículos en revistas para publicitar sus actividades entre un público cada vez más amplio. Al mismo tiempo, sin embargo, los líderes de la BAAS eran personas privilegiadas que dudaban de la idea de que todo el mundo era capaz de comprender la profundidad del pensamiento científico. ¿Era razonable esperar que los hombres de clase baja (por no hablar de las mujeres) pudiesen seguir el rigor de las demandas que el método científico exigía a la mente? Obstinadamente, al insistir en sus capacidades únicas, los científicos impedían que todo el mundo pudiese compartir por igual la empresa de la ciencia.

Según este sistema de clases intelectual, los hombres y mujeres obreros se hallaban en la posición más baja de la jerarquía científica. Incluso en las supuestamente cordiales reuniones de la BAAS, las hijas y las esposas se veían limitadas a las charlas vespertinas más ligeras. Los elitistas victorianos se enorgullecían de su progresismo, pero se resistían a reconocer que para alcanzar el progreso era necesario el apoyo de las personas excluidas de las posiciones más altas de la ciencia. Muchos grupos de personas que no pertenecían a la élite privilegiada efectuaron contribuciones fundamentales, pero se los relegó a la invisibilidad. Los casos más flagrantes eran los de los innumerables ayudantes técnicos ocultos entre bambalinas, hombres con una educación menos refinada pero esenciales para construir aparatos, organizar laboratorios y ejecutar experimentos una y otra vez. Así mismo, no era habitual que los científicos más eminentes mencionasen las habilidades de edición, recolección o dibujo de sus esposas, que con frecuencia eran elegidas por su potencial de colaboración. Mary Lyell, por ejemplo, era la esposa

científica ideal. Hija de un científico rico y famoso (una esposa perfecta para un yerno ambicioso), se convirtió en la compañera intelectual no reconocida de su esposo, el geólogo Charles Lyell. Antes de su matrimonio acordaron que ella aprendería alemán para ahorrarle a él la molestia. También pasó su luna de miel en una expedición geológica, editó e ilustró sus libros, organizó su colección de minerales y se convirtió en una experta en clasificación de conchas; incluso enseñó a su doncella a matar y limpiar caracolas.

Aunque los científicos se solían presentar como expertos, el conocimiento no se difundía hacia abajo desde las organizaciones de élite. Los cambios más bien se originaban en las interacciones entre diversos grupos y en intercambios de información, no en un flujo unidireccional de información. Por ejemplo, algunos fósiles de especial transcendencia no fueron desenterrados por geólogos londinenses especializados, sino por personas locales que se ganaban la vida vendiendo sus hallazgos. La más famosa de ellas fue Mary Anning de Lyme Regis, que no era más que una chiquilla cuando descubrió sus primeros dinosaurios en la costa inglesa. Más adelante pondría en marcha un negocio de venta de fósiles a científicos ricos, asombrados por estos esqueletos tan distintos de cualquier especie actual. Muchos de ellos acabaron en museos (generalmente sin indicar el nombre de Mary Anning) pero, aunque sus descubrimientos transformaron la geología al ofrecer pruebas irrefutables del fenómeno de la extinción, Anning nunca publicó nada, de modo que no obtuvo ningún reconocimiento formal. Más bien se convirtió ella misma en una pieza de coleccionista, una curiosidad de provincias admirada por los visitantes de Londres.

Especialistas de otras disciplinas se apoyaban en redes similares, cuyos diversos miembros aportaban habilidades distintas; los expertos científicos no siempre eran los mejores expertos. En los alrededores de Manchester, grupos de tejedores fundaron sociedades botánicas informales que se reunían en *pubs*. Aunque a menudo no eran personas cultivadas, los tejedores se tomaban muy en serio sus estudios; imponían multas a los miembros que se emborrachaban y comparaban sus especímenes con las ilustraciones de los libros de texto para aprender sus nombres en latín. Batiendo las campiñas locales, se convirtieron en grandes conocedores de la distribución de las plantas. Botánicos eminentes confiaban en estos coleccionistas artesanos, que podían encontrar e identificar raras flores que los propios botánicos eran incapaces de hallar.

Otra de las variantes de colaboración entre la ciencia y los *amateurs* de esta fue la edición en masa, que transformó la participación de las mujeres.

Anteriormente, los autores astutos ya habían intentado incrementar sus ventas dirigiéndose a las mujeres como posibles compradoras, pero durante el siglo XIX las mujeres empezaron también a escribir libros. El ejemplo más asombroso es el de Mary Somerville, una física y matemática de una capacidad tal que, a pesar de la desventaja de no poder estudiar en la universidad, llevó a cabo investigaciones lo bastante originales para valer la publicación en las *Transacciones Filosóficas de la Royal Society*. Aun así, no se le permitió ingresar en la Society y fue su marido quien tuvo que leer el trabajo por ella; los miembros, no obstante, colocaron su busto en el vestíbulo.

Como otras mujeres igualmente dotadas pero excluidas de los laboratorios científicos y las asociaciones académicas, Somerville ejerció una profunda influencia en la ciencia a través de sus escritos. Contratada por Brougham para escribir una versión popular del libro de astronomía de Laplace, creó en su lugar una obra para expertos en la que explicaba a los científicos británicos con escasos conocimientos matemáticos los complejos cálculos esenciales para comprender las innovaciones de Laplace. Aunque su siguiente obra fue menos especializada, estaba dedicada a un tema clave en la física del siglo XIX: la relación entre fenómenos aparentemente dispares.

Somerville, que estaba familiarizada con una amplia variedad de autores, no se limitó a sintetizar, sino que ofreció una interpretación novedosa que influyó en posteriores debates sobre la luz y el electromagnetismo. La élite científica quedó impresionada, los lectores no especializados eran capaces de entender el texto después de consultar algunos diagramas, y *On the Connexion of the Physical Sciences* (1834) de Somerville se convirtió en un clásico científico que contribuyó en gran medida a consolidar la reputación pública de esta física victoriana. Al optar por la unificación, Somerville trataba precisamente sobre el tema que inspiró a la BAAS y en especial a Whewell, cuyo nuevo término «científico» apareció impreso por primera vez en su entusiasta comentario sobre el libro de Somerville.

2 - Globalización

Gracias al sistema de autopistas interestatales ya es posible viajar de costa a costa sin ver nada.

Charles Kuralt, *On the Road* (1980)

Desde que Cristóbal Colón saliese de camino hacia la India para acabar en las Bahamas, los europeos se vieron obligados a reconocer la existencia de otra gran masa de tierra. Muy interesados en mantener la separación entre el Viejo y el Nuevo Mundo, imaginaron una línea de norte a sur por mitad del océano Atlántico. Trescientos años después, un Colón alemán de nombre Alexander von Humboldt pasó cinco años explorando Latinoamérica y decidió dividir el mundo en una dirección distinta: por el ecuador. Humboldt, que afirmaba estar más interesado en el clima que en la historia, planeaba utilizar las mediciones sistemáticas para fundar una nueva física de la tierra con el objetivo de unificar todo el mundo.

En cierto sentido, la ciencia ya era global. Las personas dedicadas a la historia natural hacía tiempo que aprovechaban las conexiones del comercio internacional para intercambiar especímenes; así, animales, plantas y minerales recorrían el mundo en todas direcciones. Las nuevas ciencias de la botánica y la geología dependían de estos intercambios globales, que se incrementaron durante el siglo XIX con la expansión de los imperios y de las redes comerciales. La información también viajaba de un lugar a otro, no solo en forma de libros sino también en forma de métodos de trabajo: procesos de fabricación, tratamientos médicos, técnicas agrícolas. Los comerciantes, emigrantes y colonos integraban sus costumbres propias con las habilidades locales, de manera que los conocimientos no se adoptaban tal cual, sino que se transformaban y asimilaban antes de ser a su vez exportados a otros países. Por ejemplo, los ingenieros europeos que diseñaban sistemas de irrigación incorporaron métodos desarrollados en el valle del Nilo a lo largo de los siglos, mientras que los doctores coloniales en los trópicos probaban remedios tradicionales para formular potentes drogas fáciles de transportar.

También surgió un nuevo tipo de ciencia global. Los científicos empezaron a percibir el mundo como un ser susceptible de ser analizado por derecho propio, de manera que el propio globo terráqueo se convirtió en un laboratorio. Los exploradores europeos empezaron a investigar los fenómenos naturales en el mismo lugar en el que ocurrían, en lugar de llevarse muestras a casa para examinarlas más adelante. Humboldt, un pionero del trabajo de campo, afirmaba ser un físico terrestre que actuaba de forma muy distinta a los naturalistas. En lugar de limitarse a recopilar y describir, afirmaba, su meta era analizar: a partir de la acumulación de una inmensa cantidad de medidas de gran precisión iba a deducir leyes científicas que describiesen el mundo entero. Uniendo el este y el oeste, Humboldt se imaginaba bandas climáticas que rodeaban la tierra a ambos lados del ecuador, cada una de ellas con su vegetación, paisaje y sociedad propios.

Humboldt, un hábil propagandista de sí mismo, aprovechó la pujanza de la industria editorial para dar a conocer sus viajes. Los sobrios científicos alemanes relegaron sus idealizadas aventuras a la literatura juvenil, pero en otros lugares Humboldt era la personalización del aventurero osado que se enfrenta a montañas, ríos y penurias para trazar el mapa científico del mundo. Aparte de la promoción del trabajo de campo en las ciencias de la tierra, Humboldt también dedicó su esfuerzo a actividades que se suelen considerar ajenas al terreno científico, como el estímulo de las inversiones europeas y el apoyo a los movimientos de independencia. Para los habitantes de Centro y Suramérica, Humboldt se convirtió en un héroe, no por su física, sino por convencer a los europeos de la transcendencia de esos países. A diferencia de casi todos los científicos modernos, Humboldt poseía un sólido patrimonio propio y no tenía obligación profesional alguna que cumplir. Al ser un agente relativamente libre, decidió consumir una enorme cantidad de tiempo y dinero en reunir mediciones precisas, pero también escuchó lo que los indígenas y los políticos revolucionarios tenían que decir. Después de enterarse del uso del guano en los cultivos de Perú, transformó la economía local y alcanzó la fama al convertir el fertilizante tradicional en un descubrimiento científico del que los europeos también podían sacar provecho.

Armado con formidables equipos de instrumentos de gran precisión, Humboldt demostró que la acumulación de mediciones meticulosas podía poner al descubierto regularidades en los caprichos de la naturaleza e imponer así un orden matemático en fenómenos variables como la presión del aire, el magnetismo o la distribución de la vegetación. En la Figura 33**[f33]** se muestra su argumento visual sobre la existencia de leyes generales para la variación de

la temperatura en la superficie de la Tierra. El gráfico de Humboldt se extiende desde la costa este de América, a la izquierda, hasta Asia, a la derecha, e ilustra un novedoso enfoque estadístico de la naturaleza de crucial importancia. En lugar de representar las temperaturas de días concretos, Humboldt calculó la temperatura media anual en cada lugar, acumulando así muchos miles de observaciones en unas cuantas curvas denominadas isotermas. Al eliminar las fluctuaciones mediante el cálculo del promedio, Humboldt ordenó y mostró la regularidad global.

Humboldt era un innovador visual. Ahora puede parecernos obvio que los gráficos permiten a los científicos, los publicitarios y los políticos resumir los hechos y presentarlos de un modo convincente (aunque no siempre imparcial), pero la Figura 33 es uno de los primeros ejemplos de ello. En la primera mitad del siglo XIX, los gráficos, los diagramas de barras y otros métodos similares se estaban empezando a introducir, y su proceso de aceptación fue lento. Los científicos debían aprender un nuevo lenguaje visual para interpretar los datos de los diagramas; sin embargo, como sucede con la lectura, el descifrado de gráficos y mapas se automatiza con la práctica. Incluso las líneas de nivel, que representan alturas de montañas reales, parecían algo extraño y su uso no se generalizó hasta el siglo XX. Las isotermas de Humboldt suponían un salto conceptual aún mayor, ya que se trataba de representaciones idealizadas sin una verdadera realidad física detrás. Con la representación de medias aritméticas en forma de líneas, Humboldt convirtió en visibles las regularidades estadísticas; partiendo de grandes cantidades de lecturas numéricas, inventó un atajo que permitía presentar las relaciones científicas de un vistazo.

El uso de diagramas para pensar y comprender fue potenciado por las nuevas técnicas de impresión, que posibilitaron la reproducción barata de imágenes y su incorporación dentro del texto, en lugar de en páginas independientes. Poco a poco, técnicas de visualización cada vez más ingeniosas se hicieron imprescindibles en numerosas disciplinas científicas. Faraday, por ejemplo, no era muy ducho con las matemáticas, pero era un excepcional visualizador en tres dimensiones y desarrolló el concepto de campo electromagnético imaginando líneas de fuerza con una existencia prácticamente real que se extendían por el espacio. El gran innovador visual de la geología fue Charles Lyell, amigo de Darwin, que incluyó gran cantidad de diagramas en los sucesivos volúmenes de su fundamental e influyente obra *Principios de geología* (1830-1833). Cuando los geólogos aprendieron a interpretar los cortes transversales esquemáticos de la corteza terrestre

adquirieron poco a poco la habilidad de traducir automáticamente la escala vertical a una escala temporal que abarcaba grandes períodos.

En su búsqueda de leyes de unificación, Humboldt integró la sociedad humana y el mundo natural. En su análisis del globo terrestre en términos medioambientales dividió el continente americano en dos estereotipos: las regiones templadas en el norte, similares a Europa, y los trópicos en el sur, de exuberante naturaleza pero de imposible desarrollo cultural. Con palabras e imágenes, Humboldt representaba la América ecuatorial como una salvaje y lujuriosa región en la que los viajeros debían enfrentar todo el poder de los misterios de la naturaleza. Adornó esta espectacular visión con imparables torrentes y vegetación ubicua, convirtiendo a los habitantes locales en seres exóticos de pocas luces, ansiosos por servir a sus civilizados visitantes:

> Cuando la cornisa se hizo tan estrecha que ya no podíamos apoyar los pies en ella descendimos al torrente y lo cruzamos encaramados sobre los hombros de un esclavo… Los indios hacían incisiones con sus enormes cuchillos en los troncos de los árboles, y dirigían nuestra atención hacia las hermosas maderas de color rojo y dorado que algún día serán codiciadas por nuestros torneros y fabricantes de muebles[70].

La visión personal de Humboldt supuso una influencia fundamental en las percepciones propia y mutua del Viejo y del Nuevo Mundo. Estas complejas relaciones se simbolizan en la Figura 34[f34], la portada de su *Atlas de América*, en la que se representan las múltiples relaciones entre la ciencia, el comercio y la política. Los dos europeos, la diosa de la sabiduría (Atenea) y el dios del comercio (Hermes), se abrazan mutuamente mientras consuelan al guerrero azteca contra el que han conspirado. Para poner énfasis en la juventud de las sociedades del Nuevo Mundo, la estatua tumbada de la esquina inferior izquierda es primitiva a propósito, mientras que las ruinas dispersas de la cultura mexicana representan turbulencias políticas y se corresponden con el volcán de fondo, símbolo de las conmociones naturales. La montaña nevada es el monte Chimborazo, en Ecuador, un lugar personalmente glorioso para Humboldt: después de casi alcanzar el pico, se jactó de haber subido más alto que ningún otro hombre. La división horizontal es otro de los trucos visuales de Humboldt, que indica cómo promedió grandes masas de datos para condensar el clima y la agricultura de Latinoamérica en zonas independientes. De igual modo que su física de la tierra ha impuesto orden en las poderosas fuerzas naturales del joven continente, la civilización europea terminará por domar a sus belicosas gentes.

Los exploradores no son nunca observadores neutrales. Por muy concienzuda y precisa que sea su forma de registrar los datos, seleccionan e interpretan desde una perspectiva personal. En lugar de transmitir la imagen de un continente primitivo rebosante de naturaleza tropical, pudo haber optado por destacar la notable organización de sus cultivos agrícolas. Sus percepciones de América estaban teñidas de la información que tenía acerca de las recientes expediciones arqueológicas a Egipto; a su vez las narraciones de Humboldt sobre Suramérica dominaron las actitudes de sus sucesores hacia África y Asia. Gracias sobre todo a sus campañas de promoción personal, Humboldt se convirtió en un símbolo romántico que inspiró a Charles Darwin y a muchos otros jóvenes a arriesgar sus vidas en viajes a los lugares más remotos del globo. Como Humboldt, los exploradores imperiales atraían a su público con entornos y personas de vivos colores, y se veían a sí mismos como conquistadores que habían superado los obstáculos de la naturaleza y civilizado a los indígenas. Ocultando su dependencia de la ayuda local, se apropiaron de los conocimientos de sus guías y se presentaron como descubridores científicos solitarios.

Humboldt sostenía con énfasis que para hallar leyes globales era imprescindible la acumulación obsesiva de datos; pero, sin una coordinación sistemática, el proceso de elaboración de mapas del mundo se llevaba a cabo de una forma errática. Aunque ahora nos parece evidente que los países debían poner sus recursos en común e intercambiar información, era necesario convencer a los gobiernos de que la ciencia obtenida valía la pena. Era más fácil obtener financiación para proyectos prácticos que repercutieran en la fama de las naciones, y —como destacaba Humboldt— la investigación del magnetismo terrestre prometía ser fundamental para la mejora de la navegación. En la década de 1830, un grupo de científicos británicos, muchos de ellos miembros de la BAAS, decidieron reunir mediciones de magnetismo de todo el mundo.

Dos situaciones se hallaban en permanente conflicto: las contradictorias demandas de la colaboración con científicos extranjeros y la contribución a la gloria nacional mediante la competencia con sus rivales políticos. Por mucho entusiasmo que hubiesen puesto en la promoción del progreso científico, fue la posibilidad de superar a Francia y a América lo que convenció al gobierno británico para patrocinar una expedición a la Antártida. La financiación de redes internacionales de puestos de observación suponía una dificultad aún mayor. Sin embargo, las presiones dieron sus frutos: a mediados del siglo XIX, lugares tan alejados entre sí como Filadelfia, Pekín y Praga compartían

información sobre mediciones magnéticas. De forma gradual, por todo el mundo se extendieron redes de laboratorios que supervisaban de forma constante los patrones de tiempo atmosférico, las mareas y otros fenómenos variables. Su distribución, sin embargo, era irregular, igual que la destreza del personal que las atendía, así que las iniciativas individuales siguieron siendo un factor clave para determinar cómo se efectuaban las mediciones. Para los inversores, la prioridad no era el establecimiento de leyes científicas generales.

Las comunicaciones globales parecían un negocio mucho más atractivo. A partir de la década de 1840, los gobiernos y las empresas privadas volcaron fondos en sistemas de telégrafo eléctrico, que en Gran Bretaña se utilizaron por primera vez para enviar mensajes por las líneas ferroviarias: uno de los primeros mensajes permitió la detención de un asesino en la estación de Paddington, en Londres. El tendido posterior de cables submarinos permitió transmitir mensajes de forma prácticamente instantánea de unos países a otros; al principio, entre Francia e Inglaterra, y luego por todo el mundo. Como sucede con muchas innovaciones tecnológicas, no existió un único momento *eureka*, ni un inventor solitario que transformase las comunicaciones internacionales de la noche a la mañana. El más famoso de los pioneros es el americano Samuel Morse, que se hizo famoso por enviar de Washington a Baltimore un simbólico mensaje sacado de la Biblia («*What hath God wrought*»: «*Lo que Dios ha creado*») mediante su código de rayas y puntos. Las ideas brillantes no suelen bastar, así que Morse sacó provecho de su habilidad para obtener apoyo financiero y explotar el sistema de patentes. Innumerables pioneros, cada uno con su propia y heroica lucha, han quedado relegados al olvido: el inventor ruso que conectó la residencia de verano y el palacio de invierno del zar, el americano que se apropió de la ropa interior de seda de su esposa para aislar los electroimanes, o (un caso desgraciadamente habitual) el electricista británico que tuvo que huir a Australia obligado por sus competidores al no poder pagar las tarifas de las patentes.

El sistema telegráfico mundial fue, sobre todo, un producto del imperio británico. Gran Bretaña tomó una definitiva ventaja a mediados del siglo XIX. Las naciones rivales eran incapaces de competir con su reserva de expertos en electricidad, sus colosales inversiones en el tendido de cables submarinos y su control sobre el suministro de recursos naturales procedentes de sus colonias, como la gutapercha utilizada para el aislamiento, que procedía de Malasia. Los ingenieros afirmaban que, para que el sistema telegráfico pudiese abarcar el mundo entero, todos los países debían utilizar las mismas unidades de

medida. Y, como Gran Bretaña dominaba la telegrafía, las unidades eléctricas británicas se convirtieron en estándares mundiales.

La ciencia estaba inextricablemente ligada a este complejo —imperial, tecnológico y comercial—. La nueva disciplina del electromagnetismo había inspirado los inventos que hicieron posible la telegrafía; de forma recíproca e igual de significativa, el establecimiento de redes telegráficas globales estimuló la investigación, y numerosas innovaciones se desarrollaron en centros de investigación de las colonias, no en la metrópolis. Los científicos que desarrollaban el telégrafo necesitaban sistemas de control de las señales, de modo que inventaron instrumentos muy sensibles como bobinas de resistencia y condensadores, que más adelante se convirtieron en equipos habituales en los laboratorios. Los entusiastas del imperio victorianos afirmaban que la red telegráfica era similar a un gigantesco sistema nervioso que conectaba el cerebro de Londres con las regiones remotas, como las extremidades de una estrella de mar palpando en busca de comida. Con la expansión del imperio, estos eléctricos tentáculos de comunicaciones llegaron a abarcar todo el planeta, enviando órdenes para garantizar el control centralizado, pero también dependientes de la información esencial generada en ultramar.

La resolución de los problemas prácticos de la transmisión de mensajes a larga distancia alentó el desarrollo de distintas teorías científicas acerca de cómo viaja la electricidad. Casi todos los científicos alemanes y británicos se centraron en la interacción entre las partículas eléctricas y las corrientes. En cambio, los físicos británicos de la especialidad empezaron a reflexionar sobre el papel del espacio, la zona que rodea el cable en lugar de su interior. Extrañados por los singulares efectos que hallaban decidieron volver a Faraday, que rescató del olvido y desarrolló sus visiones de campos electromagnéticos recorriendo un Universo aparentemente vacío. Después de Faraday, los modelos de campos se han convertido en una pieza esencial de la física teórica moderna; pero el impulso del electromagnetismo de la época victoriana eran los problemas prácticos de la industria del telégrafo.

Humboldt se consideraba a sí mismo el primer físico de la tierra, pero la nueva física global del siglo XIX era la electricidad. Gran Bretaña se convirtió en la nación más rica y poderosa: gobernaba sus colonias a través de redes telegráficas, imponía sus unidades eléctricas en la ciencia internacional y dominaba la física teórica con las teorías de campos derivadas de la telegrafía por cable. El centro neurálgico de la electricidad en Gran Bretaña era Glasgow, en donde trabajaba William Thomson (posteriormente lord Kelvin),

el físico especializado en telegrafía más importante del mundo, el ingeniero económico que unió gobierno, industria y ciencia cuando (tras varios intentos fallidos) logró tender el cable telegráfico transatlántico en 1866. Como Humboldt, Thomson unió el Nuevo y el Viejo Mundo; y a Humboldt le hubiese complacido el enfoque cuantitativo de Thomson hacia las teorías abstractas. «Si puedes medir aquello de lo que estás hablando y expresarlo en términos numéricos es que sabes algo sobre ello», afirmaba Thomson, «pero si eres incapaz de medirlo… es que apenas has avanzado, en tu pensamiento, hasta la fase de ciencia»[71].

3 - Objetividad

> Según se dice, la mente gobierna el mundo. Pero ¿qué gobierna a la mente? El cuerpo (préstenme aquí atención) se halla a merced del más omnipotente de los poderosos: el farmacéutico.
>
> Wilkie Collins, *La dama de blanco* (1860)

Los científicos victorianos idolatraban a Isaac Newton, o más bien al dechado de racionalidad que imaginaban que había sido (Figura 31). Eliminando toda información sobre sus experimentos alquímicos y sus episodios de locura, lo convirtieron en la descripción del «hombre objetivo» de Nietzsche, un ser exento de pasiones cuyo único fin es «reflejar» aquello que está ajustado para percibir[72]. Como si fuera un instrumento científico, se suponía que Newton se había limitado a registrar datos con neutralidad para luego analizarlos de forma imparcial. Llevado al extremo, Newton personalizaba un estereotipo científico dominante, aunque inalcanzable: el genio desinteresado que mide el Universo como si fuese un observador externo.

Muchos cuestionaban si tal objetividad era posible, o incluso deseable. Estas dudas se hicieron especialmente patentes en Alemania, durante la primera mitad del siglo XIX, cuando los filósofos, escritores y artistas románticos aspiraban a trascender la distinción entre el mundo físico y el humano, entre la investigación abstracta y la creatividad inspirada, entre ciencia y literatura. A los entusiastas más explícitos de este punto de vista idealista se les denominaba *Naturphilosophen* (este apelativo alemán se utiliza en su versión original para distinguirlos de los filósofos naturales en general). «Natur» indica su creencia en que, como seres humanos, estamos indisolublemente involucrados en el mundo natural y nos es imposible apartarnos de él; no podemos impedir que nuestras mentes construyan *a priori* la forma en que vamos a analizar e interpretar lo que vemos.

La ciencia, según manifestaban los *Naturphilosophen*, avanzaba en la dirección equivocada. Este grupo de elementos dispares sin un manifiesto colectivo buscaba grandes teorías que unificasen el Universo incorporando los

seres vivos en su desarrollo. Mientras que Newton, Descartes y los filósofos mecanicistas concebían la creación como un gigantesco reloj astronómico, los *Naturphilosophen* la imaginaban como un organismo cósmico y creían en una naturaleza orgánica y evolutiva, un cosmos vivo en sí mismo. Si este intento de resumen resulta vago y confuso es porque refleja la grandilocuente imprecisión de su propio estilo. Sin embargo, a pesar de su diversidad y su espíritu esotérico, los *Naturphilosophen* ejercieron una tremenda influencia, tanto de forma inmediata, en la ciencia del siglo XIX (en el electromagnetismo de Faraday o en la física de la tierra de Humboldt, por ejemplo) como a largo plazo, en temas tan distintos como evolución, mecánica cuántica y ecologismo.

Si los *Naturphilosophen* hubiesen buscado un logotipo, quizá hubiesen elegido la Figura 35**[f35]**, tomada de una baraja de naipes diseñada por Johann Wolfgang von Goethe para sus conferencias sobre óptica. Así es: Goethe, actualmente célebre por ser el Shakespeare de Alemania, era un activo investigador científico, experto en minerales y propietario de una colección de 18 000 muestras de roca, y partícipe también en debates internacionales sobre biología y óptica, especialmente sobre el color. La aproximación subjetiva de Goethe hacia la experimentación científica tenía en cuenta de manera deliberada las reacciones del observador. En la figura, su ojo masónico mira con agresividad, proyectando rayos de luz para dispersar los nubarrones de la ignorancia. Para Descartes, Newton y los campeones de la objetividad, un prisma o una lente se utilizan para generar imágenes que se pueden inspeccionar de modo imparcial, como si el propio ojo fuese un instrumento. Sin embargo, según Goethe, los seres humanos están implicados de forma inevitable en las observaciones que efectúan. Su ojo miraba directamente al prisma, convirtiendo así su propia retina en la pantalla de proyección. Para Goethe, la ciencia formaba parte del mundo, no solo de los laboratorios; examinó en sí mismo los efectos de contemplar las brillantes ropas de una mujer o una ladera cubierta de nieve, y en su novela *Las afinidades electivas* comparaba los intercambios conyugales con las transformaciones moleculares. En vez de negar su imaginación, Goethe sostenía que, como genio creativo romántico, su intensidad emocional y su agudizada conciencia le ayudarían en su búsqueda de un tipo más humano de conocimiento científico.

El arco iris de la imagen simboliza la hostilidad de Goethe hacia la óptica de Newton. Mientras que Newton declaraba que los colores ya existían combinados en la luz del sol, Goethe mantenía que surgían de la conjunción

de opuestos polares: basta con mirar, decía, a los flecos coloreados visibles en un límite brusco entre un cuerpo blanco y otro negro. Para los científicos británicos estaba en juego el honor nacional, y defendieron a Newton ridiculizando las ideas de Goethe, utilizando incluso improperios no demasiado compatibles con el decoro científico. En cambio, los fisiólogos alemanes incorporaron la visión goethiana del cromatismo orientada a la persona en sus estudios sobre la percepción. Muchos experimentadores de la época romántica (como Samuel Taylor Coleridge, un importante introductor de las tesis de la *Naturphilosophie* en Gran Bretaña) eran partidarios del énfasis en la polaridad de Goethe, similar a sus propias investigaciones sobre la actividad magnética, eléctrica y química: norte y sur, positivo y negativo, atracción y repulsión. Así como Goethe utilizaba su propio ojo como un instrumento, estos científicos convirtieron su cuerpo en un componente de los circuitos eléctricos (y los dolores que soportaron sugieren que ellos, a diferencia de Galileo, sí merecen llamarse «mártires de la ciencia»).

Los *Naturphilosophen* han sido apartados de los libros de historia porque (para decirlo claramente) la ideología de la objetividad venció la batalla en el siglo XIX. Los científicos afirmaban mostrar el mundo tal y como es, aunque este objetivo demostró ser prácticamente imposible de lograr. En primer lugar, para evitar que la descripción del Universo sea tan grande como el propio Universo es necesario efectuar selecciones y resúmenes, un lugar de entrada obvio para la subjetividad. Después de elegir una planta, cristal o imán específicos para examinar, no es posible saber si se trata de un ejemplar típico, por muy meticulosa que sea la documentación de su aspecto y comportamiento.

Una de las formas de enfrentarse a este dilema es emplear una versión idealizada, el mejor de los ejemplos imaginables, una amalgama o destilación irrealizable de componentes perfectos. Esta fue la solución adoptada durante la Ilustración, cuando los artistas mejoraban deliberadamente el sujeto que tenían delante. Los retratos de Joseph Banks y sus contemporáneos científicos no los representan exactamente tal como eran, pues los pintores seleccionaban las poses apropiadas y exageraban ciertos rasgos para idealizar sus temas humanos: exploradores, administradores, cirujanos. Incluso los anatomistas que se jactaban de la exactitud de su representación convirtieron el *Homo sapiens* en *Homo perfectus* al hacer sus dibujos conforme a ciertas expectativas. Preferían que los esqueletos masculinos tuvieran cabezas grandes y piernas largas, mientras que los femeninos parecían ser exageradamente pequeños, con cajas torácicas estrechas y anchas caderas,

reflejando deformaciones que posiblemente se debieran al uso del corsé. Asímismo, aunque Pieter Camper efectuaba mediciones precisas de sus cráneos (Figura 24), las líneas de la cuadrícula se limitan a teñir las imágenes de un aura de objetividad.

A los científicos victorianos les horrorizaba la idea de que la subjetividad pudiese anidar en el corazón mismo de la ciencia. Una de las estrategias que adoptaron fue rechazar el concepto de formas ideales universales de la Ilustración e insistir en que los naturalistas dibujaban los especímenes tal como aparecían ante ellos, con todas sus imperfecciones. Se exhortaba a los científicos a que ejercieran la autodisciplina y se comportaran como si fuesen instrumentos de medida que generan una visión objetiva. Ejercían sobre los artistas profesionales a los que empleaban una estrecha supervisión para impedir que introdujeran adornos personales que hiciesen sus imágenes estéticamente más agradables, pero que redundasen en perjuicio de su precisión científica. La siguiente fase lógica era la eliminación total de los observadores humanos y su sustitución por máquinas, sobre las que se podía ejercer un mejor control. Los dispositivos de registro de datos, prometían sus inventores, ofrecían una transcripción directa del mundo sin intervención humana alguna. Por ejemplo, los médicos podían acceder directamente al cuerpo humano mediante termómetros y estetoscopios, mientras que la fotografía resolvería de una vez por todas la cuestión de la vida en la Luna.

Sin embargo, fueran cuales fuesen las medidas tomadas por los científicos para garantizar la objetividad, las evaluaciones personales seguían invadiendo subrepticiamente los procesos de experimentación. Incluso los instrumentos de medición autónomos daban problemas. Por ejemplo, un ingenioso dispositivo médico controlaba el pulso de un paciente mediante una aguja sensible que trazaba un gráfico en zig-zag sobre una pieza de vidrio. Pero, a pesar de su fidelidad, este patrón ondulante carecía de valor en sí mismo, y no revelaba de inmediato el estado de salud de su propietario. Los médicos se quejaban de que «los registros están escritos en un lenguaje que apenas empezamos a comprender… las oscilaciones de la palanca carecen de sentido, igual que las vibraciones de la aguja telegráfica para una persona que desconozca el alfabeto correcto»[73]. El descifrado del gráfico de diagnóstico implicaba aprender a relacionar las marcas del cristal con las situaciones físicas que las causaron, un proceso de interpretación que exige destreza, experiencia y juicio personal. A medida que durante el siglo XX las máquinas de recolección de datos se hacían más sofisticadas, este problema no hizo más que agudizarse. Los mapas magnéticos, los rayos X y las fotografías en

cámara de niebla están abarrotadas de información detallada, pero únicamente para los expertos que han aprendido a traducirlas. Y estos expertos son personas, de modo que no siempre llegan a las mismas conclusiones.

Incluso la cámara, que nunca miente, podía revelar distintas versiones de la verdad. Faraday fue uno de los primeros conversos. «Ninguna mano humana ha trazado hasta ahora las líneas que se muestran en estas imágenes», afirmaba con entusiasmo; «lo que el hombre haga, ahora que ha convertido a la naturaleza en su dibujante particular, es imposible de predecir»[74]. Sin embargo, no todo el mundo estaba de acuerdo en que la fotografía ofreciese acceso directo al mundo natural. Para empezar, era necesario superar problemas técnicos: los tiempos de exposición prolongados, la fragilidad de las placas, la dilatación o contracción del papel que impedía efectuar mediciones precisas. Y además había que tener en cuenta la reputación de la fotografía. Los espiritualistas mostraban retratos de personas del más allá, mientras que algunos oportunistas pretendían lucrarse vendiendo vistas estereoscópicas de mujeres desnudas en la Luna. ¿Cómo iba a ser un entretenimiento como ese una herramienta científica legítima?

La palabra «fotografía» la inventó en 1839 el astrónomo John Herschel, y la astronomía se convirtió en la ciencia fotográfica por excelencia. Las fotografías astronómicas de lejanos planetas y de nebulosas en forma de remolino cautivaron a los lectores de periódicos de la era victoriana; el propio Herschel fue fotografiado como un inspirado genio con una desordenada mata de pelo blanco a modo de halo. Pero el éxito científico de esta técnica no vino de la noche a la mañana. Para empezar, los innovadores no se ponían de acuerdo sobre la mejor forma de utilizar la fotografía en astronomía. Los emprendedores con intereses comerciales se jactaban de que la fotografía era capaz de poner al descubierto nuevos fenómenos, como las erupciones alrededor del Sol durante un eclipse, y promocionaban la fotografía como una emocionante herramienta de exploración que revelaba los secretos ocultos del cosmos. Los astrónomos profesionales, en cambio, estaban más interesados en la exactitud. Responsables de la supervisión de equipos de observadores de escasa coherencia, tenían la esperanza de que la fotografía reemplazase personas por precisión.

En ambos terrenos, la intervención humana resultaba esencial, de modo que la objetividad siguió siendo difícil de lograr. La impresión de fotografías implicaba un proceso largo y costoso, de forma que los originales se copiaban a mano para su reproducción masiva; así, la mayoría de personas veían dibujos, no transcripciones directas de la naturaleza. En lugar de replicar las

fotografías con minuciosa precisión, los grabadores mejoraban las imágenes para destacar los aspectos más importantes. Hacia finales del siglo XIX se hizo posible la exploración continua y automática del cielo; parecía que, por fin, podría eliminarse la falibilidad humana. Pero surgió un nuevo problema: si se cubría todo el firmamento se obtendría una montaña de fotografías astronómicas de una docena de metros de altura, imposible de manejar. El sueño de Faraday de acceder a la «dama Naturaleza» parecía ser un sueño imposible.

El primer impacto de la fotografía no fue en la ciencia, sino en el arte del retrato. Los científicos enseguida sacaron provecho del nuevo soporte para hacerse publicidad, posando severamente en estudios mientras sostenían cráneos o muestras de minerales. Más adelante empezaron a fotografiar a otras personas. Aunque se suponía que sus cámaras actuaban como observadores neutrales, las fotografías una vez terminadas tenían un aspecto tan artificial como el de sus propios retratos promocionales. La recopilación de datos teóricamente objetivo se prestaba al control social. Por ejemplo, los médicos en sanatorios mentales publicaban conmovedoras imágenes de trastornos mentales que justificaban el encierro de los pacientes. Los científicos empezaron a catalogar distintos tipos de seres humanos, poniendo el énfasis en la objetividad de su mirada fotográfica al reducir sus sujetos a especímenes; los habitantes de las colonias eran obligados por los antropólogos a posar de pie delante de una cuadrícula y los convictos se redujeron a fotografías de frente y de perfil que podían compararse cuantitativamente.

Al fotografiar a las personas a las que juzgaban como anormales (pacientes mentales, otras razas, criminales), los científicos definían los términos de la normalidad. Utilizaban la fotografía, una herramienta de clasificación supuestamente objetiva, para respaldar sus evaluaciones personales acerca de quiénes debían ser plenamente aceptados como miembros de la sociedad. Esto significaba enfrentarse al problema de representar un grupo —los locos, los ciudadanos respetables, los africanos— encapsulando de algún modo las características de los individuos que lo componen. En el siglo XVIII se había optado por la solución de describir el tipo ideal. En la época victoriana se adoptó un nuevo punto de vista: el desarrollo de métodos estadísticos para hallar la media. Para fortalecer la ilusión de imparcialidad, se dotó a la normalidad de una nueva base numérica.

La vida en el siglo XIX se vio invadida por el pensamiento estadístico. De ser una esotérica especialidad matemática, la estadística pasó, no solo a

dominar la investigación científica, sino a convertirse en un arma vital para los reformistas sociales; la enfermera Florence Nightingale fue una de las primeras activistas, y utilizó sus datos para demostrar que la higiene en los hospitales no solo reducía los costes, sino también el número de muertes. Los estadísticos se jactaban de practicar la ciencia más objetiva posible, en la que solo los hechos importaban y las opiniones estaban prohibidas. «Cuanto más árido, mejor», declaraba un experto en cólera, «la estadística debe ser la lectura más árida de todas»[75].

Uno de los especialistas que trataron de dotar a los datos numéricos de un impacto inmediato fue Francis Galton, el primo de Charles Darwin. Galton era un coleccionista de datos obsesivo que ideó varios métodos astutos de representar la información estadística. Aparte de condensar grandes volúmenes de cifras meteorológicas en mapas del tiempo, Galton inventó también una máquina fotográfica capaz de realizar lo que él llamaba «estadísticas pictóricas». En primer lugar, fotografiaba a varios miembros de una determinada categoría —asesinos, hermanas, hombres con sífilis— y a continuación superponía las fotografías individuales para obtener una imagen compuesta. En la fila superior de la Figura 36[f36] se ilustran sus intentos de identificar criminales mediante este proceso de acumulación mecánica, que se delata en este caso por los perfiles borrosos que rodean los rostros centrales, más nítidos. Las cuatro imágenes inferiores revelan el esnobismo de Galton al suponer que la diferencia de clase entre oficiales y soldados rasos estaría impresa en su aspecto externo.

Las fotografías compuestas de Galton son una visualización de la distribución normal, la curva en forma de campana que desciende de forma simétrica a ambos lados del valor central, la media. Suele llamarse distribución gaussiana, porque fue el matemático alemán Karl Gauss quien la introdujo para la estimación de errores en astronomía. Gauss demostró que, si se repite varias veces la misma medición, las lecturas se agrupan en una estrecha curva alrededor de la media: cuanto más ancha sea la curva, mayor es la probabilidad de que una lectura en particular sea incorrecta. Al permitir a los científicos calcular la fiabilidad que podían asignar a sus resultados, las técnicas de Gauss agregaron seguridad matemática a las afirmaciones de que las mediciones eran precisas y objetivas y no estaban contaminadas por el error humano.

Sin embargo, esta concepción numérica de la normalidad dejaba de nuevo el paso franco a los juicios subjetivos. Era fácil ir de la descripción a la recomendación, del seguimiento social a la ingeniería social. Galton no era

más que uno de los numerosos científicos victorianos que creían que mediante la medida de las características físicas se podía obtener información imparcial sobre las habilidades mentales, las tendencias psicológicas y los orígenes raciales de las personas. Supuestamente, los criminales, por ejemplo, se hallaban en los extremos de las distribuciones normales porque, respecto de la media, tenían barbillas hundidas y brazos largos, lo que sugería que eran seres degenerados de una categoría inferior a los caballeros de la época. A su vez, se afirmaba que los genios eran más delgados de lo normal y con la frente abultada; no es una coincidencia que Sherlock Holmes respondiese a esta descripción.

En retrospectiva, parece evidente que, igual que el proyecto de Camper, estos argumentos estaban plagados de presuposiciones y círculos viciosos. En el nombre de la objetividad, los científicos hacían hincapié en la importancia de las pruebas fotográficas y de las mediciones precisas, pero estas dos herramientas discriminatorias también fueron empleadas en el siglo XX en campañas de determinados partidos políticos para efectuar, según afirmaban, una purificación de la sociedad. Por ejemplo, en Alemania, los activistas nazis distribuían panfletos en los que se comparaban los colores de ojos de los judíos y de los arios, y en Suecia, en donde seguían llevándose a cabo esterilizaciones forzosas en la década de 1960, los médicos recopilaban galerías fotográficas de los distintos tipos raciales y psicológicos. Desde luego, no se puede culpar a Galton del Holocausto, pero quizá los *Naturphilosophen* tenían razón al cuestionarse el ideal de la objetividad.

4 - Dios

Era el designio divino manifestado
en estas bandas de azur, negro y dorado,
de ondulantes contornos, flujo sólido
compuesto en su propio armazón:
granate rojo junto a mica, de un blanco de plata;
un trozo de ágata, como un mar interior…

Clive Wilmer, *Minerals from the Collection of John Ruskin* (1992)

En diciembre de 1871, el príncipe de Gales se encontraba a las puertas de la muerte, gravemente enfermo de fiebre tifoidea. El arzobispo de Canterbury y sus aliados entraron en acción y enviaron órdenes a través del sistema telegráfico para la lectura de oraciones especiales en las iglesias de todo el reino. El Príncipe pronto sé recuperó, pero la nación quedó dividida: ¿había sido una intervención divina o bien la medicina moderna la responsable de esta curación aparentemente milagrosa? Un eminente cirujano sugirió que la cuestión podía resolverse estadísticamente haciendo que las oraciones tuviesen como destino una sala especifica de un hospital durante varios años para ver si mejoraba la tasa de curaciones. Aunque esta prueba divina nunca se llevó a cabo, el debate de evaluación de la oración prosiguió durante años: la enfermedad ¿era un castigo por ley divina o era posible prevenirla obedeciendo las leyes científicas de la salud?

Puede que estas discusiones acerca de la oración parezcan un conflicto directo entre ciencia y religión, pero el argumento de fondo no era quién tenía la razón, sino a quién se confiaba la decisión de qué era lo correcto. Tradicionalmente, la autoridad estaba en manos de la Iglesia Anglicana, pero durante el siglo XIX los científicos británicos empezaron a reclamar poder para su nuevo sacerdocio de la racionalidad. Los científicos ambiciosos que luchaban por consolidar su reputación como expertos de la élite desplazaban a cualquiera a quien juzgasen inapropiado. Una de sus maniobras fue la de establecerse como profesionales marginando a aquellos que carecían de credenciales educativas. Asignándoles el peyorativa epíteto de *amateurs*,

apartaron a un gran grupo de personas con amplios conocimientos: mujeres, coleccionistas, astrónomos domésticos.

Otra táctica fue la de establecer por primera vez una distinción clara entre ciencia y religión. Francis Galton presentó algunas estadísticas obtenidas de muestras cuidadosamente seleccionadas que evidenciaban una supuesta escasez de líderes religiosos en las juntas directivas de las sociedades científicas. Tras unos cuantos pasos lógicos llegaba a la conclusión de que a los hombres de iglesia no se les daba bien la ciencia; una vocación teológica, afirmaba, era incompatible con la competencia científica. El más elocuente de los portavoces de estos ataques a la Iglesia fue Thomas Huxley, gran defensor de la evolución de Darwin e inventor de la palabra «agnóstico». El golpe maestro de Huxley tuvo lugar durante un debate público en Oxford, en donde afirmó que prefería tener por antepasado a un simio que al obispo fanático que tenía delante. Aunque puede que se trate de un relato apócrifo, sí es cierto que Huxley condenó con ferocidad a todo aquel que pensaba que era, o que podía ser, al mismo tiempo «un verdadero hijo de la iglesia y un leal soldado de la ciencia»[76].

Al parodiar a la oposición religiosa, Huxley hizo que las ideas de Darwin sonasen mejor. Sin embargo, su agresividad indicaba hasta qué punto las cuestiones teológicas estaban arraigadas en la investigación científica a mediados del siglo XIX. En general, los principales debates eran dos. Uno de ellos estaba específicamente relacionado con la teología bíblica. Las pruebas derivadas de los fósiles y la formación de rocas sugerían que la Tierra era extraordinariamente más antigua de lo que sugería la Biblia; y, para avivar aún más la polémica, las teorías evolutivas contradecían las creencias tradicionales de que los seres vivos habían permanecido inmutables desde que Dios los crease. Sin embargo, para muchos victorianos, los relatos de las Escrituras representaban poderosas metáforas, no realidades literales; así, las contradicciones con la Biblia no les preocupaban en exceso. El problema principal de los críticos de la ciencia eran las implicaciones filosóficas de las ideas modernas. Los cristianos creían en un cosmos teleológico, creado por un Dios omnisciente, un Gran Diseñador, con una finalidad específica. Este reconfortante punto de vista se veía amenazado por los nuevos métodos estadísticos de la física y también por la teoría de la evolución de Darwin, según la cual el azar puede introducir nuevas características entre una generación y la siguiente.

Dios había quedado apartado a la fuerza de la astronomía durante la Revolución Francesa, cuando Pierre-Simon Laplace revisó las ideas de

Newton para crear su cosmos determinista, en el que las leyes de la ciencia gobiernan cada movimiento de cada planeta, sin necesidad de intervención divina alguna. Inspirado por este triunfo, el astrónomo belga Alphonse Quetelet decidió que las sociedades humanas debían también tener unas leyes que las controlaban. Cada país posee sus propios patrones estadísticos que permanecen constantes de un año al siguiente —tasas de crímenes y suicidios, por ejemplo—, de modo que Quetelet sugirió que las características de una nación se pueden condensar en un «hombre medio». Los políticos, recomendaba Quetelet, debían actuar como físicos sociales e intentar introducir mejoras en el comportamiento medio, en lugar de preocuparse por las anomalías extremas. Desde su punto de vista, las variaciones respecto de la media estadística eran —a semejanza de los bamboleos de los planetas— imperfecciones que debían pulirse para lograr un progreso general.

Quetelet introdujo así una forma radicalmente nueva de pensar acerca del ser humano. Como decía uno de sus admiradores, «el hombre solo es un enigma si se lo mira como individuo; en la masa se convierte en un problema matemático»[77]. Los sucesores de Quetelet desarrollaron sus ideas en diversas direcciones. Uno de los aspectos importantes de su trabajo era su valor político, que dejaba espacio para diversas interpretaciones. Mientras que los conservadores afirmaban que no había muchas posibilidades de alterar el sistema actual, los radicales acusaban al gobierno de obstaculizar la marcha natural del progreso, y los utópicos, —Karl Marx, por ejemplo— imaginaban armoniosas sociedades gobernadas por unas leyes naturales que garantizaban su avance. Proliferaron los proyectos de recolección de datos, y los estadísticos se lanzaron a buscar leyes que gobernasen todos los aspectos de la vida, desde el tiempo atmosférico al crecimiento de la civilización, de las fluctuaciones del mercado de valores a la incidencia de las enfermedades. Muchos científicos tomaban las ideas de Quetelet, no de abstractos libros de texto, y luego las modificaban con sus propias inspiraciones. Mientras que, para Quetelet, las desviaciones individuales de la norma eran errores que debían eliminarse, los científicos decidieron estudiar cuál era el origen de tales desviaciones.

En física, la aplicación más importante de la estadística fue en el estudio del comportamiento de los gases, un tema al que se prestaba un gran interés en la Europa de las máquinas de vapor: el estudio de la termodinámica —las relaciones entre calor, movimiento y potencia— podían contribuir a incrementar la eficiencia de las industrias. En 1873, James Clerk Maxwell, un científico escocés afincado en Cambridge, asombró a su público en la reunión

anual de la BAAS al explicar de qué modo el comportamiento global de los gases, como el de las poblaciones humanas, puede describirse fijándose en la velocidad media de las moléculas, cuyo movimiento —según su hipótesis— era aleatorio. Maxwell sostenía la imposibilidad de establecer un conocimiento exhaustivo absoluto de los gases y otros sistemas microscópicos; la única certeza posible era la difusa estadística.

Esta postura no era un simple truco matemático astuto; en realidad planteaba dudas fundamentales acerca del determinismo. Quetelet había intentado también describir las sociedades humanas desde un punto de vista estadístico y había generado encendidos debates. Si se suicidan una media de diez personas al año, ¿está su destino decidido *a priori* o conservan todos los individuos su libre albedrío? El punto de vista mayoritario era que el libre albedrío es esencial para la vida humana; sin embargo, su extrapolación a la física era un asunto totalmente distinto. Si se asumía que las moléculas eran capaces de tomar decisiones se eliminaba la distinción entre los seres espirituales y la materia inerte, lo que introducía una filosofía materialista totalmente opuesta a la teología cristiana. Otro de los problemas era la suposición de Maxwell de que las moléculas gaseosas se movían de forma aleatoria, lo que daba idea de un cosmos que surge del azar, no planificado por Dios. Las técnicas estadísticas prosperaron en la práctica científica porque funcionaban, pero insolubles problemas teológicos siguieron acosando tanto a Maxwell como a sus críticos.

La geología suscitaba cuestiones relacionadas de forma más directa con el cristianismo. En el libro del Génesis, el primero de la Biblia, se describe cómo Dios creó el Universo a partir de la nada en seis días. Algunos creyentes se aferraban tercamente a este relato, a pesar de que no les preocupaba tanto el ritmo de trabajo de Dios como la noción de que Él había creado las personas, los animales y las plantas exactamente en su forma actual; en sus visiones no cabía la posibilidad de la extinción ni de la aparición de nuevas especies. Su otro gran problema era la edad de la Tierra. En las Biblias suele haber una nota al margen en la que se explica que el mundo se originó el domingo 23 de octubre de 4004 a. C., una fecha calculada con minuciosidad y en la que más o menos están de acuerdo los cronólogos de la iglesia.

Durante el siglo XVIII, los opositores de esta ortodoxia habían actuado con cautela, evitando en lo posible el enfrentamiento. Por ejemplo, a partir de los trabajos del naturalista newtoniano Georges Buffon, construyeron historias de la Tierra ingeniosamente divididas en seis eras, para corresponderse con los seis días de la creación de los que se habla en las Escrituras. El problema

fundamental con el que se enfrentaban los geólogos era explicar cómo ciertas rocas que, claramente, estaban constituidas por sedimentos acumulados bajo el agua se hallaban ahora en tierra firme, una transformación que en la Biblia queda convenientemente explicada en el Diluvio Universal. Una determinada escuela de geólogos, los neptunistas, que tomaron su nombre del dios romano de los mares, creían que un inmenso océano cubría toda la superficie de la Tierra y que en la actualidad se había secado (no ofrecían explicación alguna acerca de dónde había ido a parar toda el agua). La fuerza del movimiento neptunista fue especialmente notable en las academias de minería de Alemania, en donde uno de los principales temas de trabajo prácticos era la clasificación de rocas. A sus opositores se los denominó plutonistas, del nombre del dios romano del averno. Los plutonistas sostenían que violentos terremotos, causados por las altas temperaturas internas de la Tierra, habían empujado hacia arriba amplias zonas de terreno seco desde debajo de la superficie del agua.

El más influyente de los plutonistas fue James Hutton, que pertenecía al círculo intelectual del ingeniero James Watt y del economista Adam Smith en Edimburgo. Después de aburrirse, primero como químico industrial y luego como noble granjero, Hutton volvió su atención a la geología, pero siempre evaluando el paisaje según su potencial agrícola. La geología, según descubrió, no era un trabajo fácil; con el trasero dolorido durante una salida de campo en Gales, se quejaba: «Dios mío, apiádate del trasero que está pegado a la cabeza de un buscador de piedras». Sin embargo, la contribución más importante de Hutton —y, a finales del XVIII, se trataba de una innovación radical— fue imaginar un ciclo de cambio continuo y de extraordinaria lentitud: debido a la erosión del viento y el agua, las partículas de roca se depositan en el fondo marino, en donde se convierten en un duro sedimento antes de verse impulsadas hacia arriba para convertirse de nuevo en montañas. Este sistema de estado permanente precisaba de inimaginables períodos de tiempo. Como decía de forma dramática y polémica el propio Hutton: «no hallamos vestigios de un principio ni perspectivas de un fin»[78].

Teológicamente, se hicieron diversas interpretaciones de este modelo. Aunque al propio Hutton le era indiferente el Génesis, Dios formaba parte esencial de su cosmos, que imaginaba como una gigantesca máquina de movimiento perpetuo ideada especialmente para que sus habitantes fuesen felices por toda la eternidad. Algunos críticos se escandalizaron: Hutton contradecía de forma patente la cifra de 6000 años de la que se habla en la Biblia; estos críticos volvieron a incorporar el Diluvio Universal en el

esquema. Rechazando el sistema de cambio gradual de Hutton, centraban su atención en espectaculares agitaciones y catástrofes como terremotos o inundaciones. En contraste, los geólogos franceses y alemanes hacían caso omiso de la Biblia, pero tenían otras razones para preferir los modelos catastrofistas. ¿Cómo se podía explicar si no la presencia de rocas gigantescas esparcidas por todo el paisaje?

Cuando el anatomista francés Georges Cuvier examinó las rocas de los alrededores de París halló que ocupaban distintos estratos, cada uno de ellos con un tipo de fósil característico. Para Cuvier, estaba claro que las eras estaban separadas entre sí por una serie de convulsiones violentas; muchos geólogos estaban de acuerdo con él. Los conversos se propusieron reunir pruebas de eventos catastróficos por todo el mundo. Un académico de Oxford halló un enlodado cubil de hienas en pleno Yorkshire (un testimonio innegable del Diluvio, concluyó), Alexander von Humboldt informó de la existencia de volcanes en Suramérica, y un abogado británico miope, —Charles Lyell—, formó como ayudante a su esposa, Mary, y se la llevó con él a Italia. Los paisajes de Italia hicieron que Lyell cambiara de opinión y, con la ayuda de Mary, escribió sus *Principios de geología* (1830-1833), tres volúmenes de influencia transcendental en los que se rechazaba el catastrofismo y se resucitaba el enfoque de Hutton.

El cambio, declaraba Lyell, tiene lugar de forma lenta y uniforme, a lo largo de prolongados (muy prolongados) períodos de tiempo, y ocurre al mismo ritmo ahora que en el pasado. Como suele suceder con las nuevas ideas, la conversión de los científicos no fue de la noche a la mañana. Como Galton y Huxley, Lyell estaba decidido a separar la ciencia de la religión, a «liberar a la geología de Moisés», como solía decir lacónicamente. Con esto no pretendía decir que solo los no creyentes podían ser científicos (muchos de sus aliados eran cristianos, de hecho), sino más bien que la ciencia solo podía ganar prestigio alejándose de los hombres que se aferraban a las viejas corrientes de pensamiento. Los científicos de la época victoriana que luchaban por la autoridad social no tenían la intención de erradicar la fe, sino más bien de pulir su comunidad desde dentro, eliminando a aquellos que basan las hipótesis científicas en argumentos religiosos.

Lyell estaba extremadamente orgulloso de su portada (Figura 37**[f37]**), grabada en oro en las ediciones de lujo. El templo de Serapis, cercano a Nápoles, era un famoso monumento de la civilización clásica, pero para Lyell se trataba también de un monumento a los acontecimientos geológicos que habían tenido lugar mucho tiempo antes. Las bandas oscuras de las columnas

se debían a los moluscos marinos, lo que ponía de manifiesto que el edificio original se hundió primero por debajo del nivel del mar para volver a elevarse más adelante. Serapis representa el principio clave de la teoría de Lyell: que los pequeños cambios a un ritmo lento y sostenido son los responsables incluso de los rasgos más espectaculares de la superficie terrestre. A diferencia de lo que afirma la teología cristiana, este mundo se encuentra en un estado estacionario, sin patrón establecido de progreso, sin una inexorable flecha del tiempo que apunte del pasado al futuro.

En la imagen de Lyell, las historias humana y geológica están interrelacionadas. Un hombre moderno se encuentra de pie junto a las columnas, mientras que la figura sentada contempla este doble testimonio del pasado. Esta visión integrada representaba un cambio radical en la percepción que las personas tenían de sí mismas y de su relación con el cosmos. Según la narración bíblica, solo hay un tipo de historia: el de las cuestiones humanas de los últimos seis mil años, desde que se creó la Tierra tal como es ahora. Los geólogos forzaron a los victorianos a considerar una versión más profunda del tiempo, un mundo habitado que se extendía de forma inimaginable hacia el pasado, mucho antes de la existencia de la vida. Huxley lo explicaba con elocuencia en una conferencia a unos obreros en East Anglia: «Un gran capítulo de la historia del mundo está escrito en el yeso»[79]. Bastaba con examinar el yeso bajo sus pies o en el bolsillo de un carpintero, proclamaba Huxley, para obtener más conocimientos que los que un erudito podía lograr con la nariz enterrada en sus libros.

Tanto el tiempo como el espacio se alargaron durante el siglo XIX. Potentes telescopios revelaron inmensos pedazos del espacio que contenían aparentemente un sinfín de objetos: estrellas, nebulosas y otros sistemas planetarios. Mirar hacia el cielo implica mirar hacia atrás en el tiempo, porque, a pesar de que la luz viaja a gran velocidad, no llega de forma instantánea; cuanto más lejos se mira, más tiempo hace que la luz inició su viaje. Viajar hacia el interior de la Tierra también implica viajar hacia el pasado (y por eso Jules Verne, que sel mantenía al corriente de las últimas novedades científicas puso monstruos prehistóricos en el centro de la Tierra). Aunque los geólogos dudaban sobre el número de ceros que debían añadir a la edad del Universo, era evidente que incluso los más antiguos de los reinos humanos habían ocurrido solo unos pocos segundos antes en el reloj geológico.

Esta expansión del tiempo geológico no solo sacudió los cimientos de la ciencia, sino que supuso también una transformación esencial en el

pensamiento europeo. Igual que el traslado del Sol al centro del Universo en lugar de la Tierra implicaba una disminución radical de la importancia de la vida humana. No es una coincidencia que el poema en lengua inglesa más leído del siglo XIX fuese *In Memoriam*, una meditación sobre Dios, la naturaleza y la vida como reacción a la prematura muerte de un joven. En esta famosa elegía, Alfred Tennyson —que había leído a Lyell y estaba enterado de los últimos debates científicos— forcejeaba con la angustia de un cosmos incierto, no teleológico. ¿Cómo podía, decía con inquietud, renunciar a su confianza cristiana de que «nada camina sin rumbo fijo»? Como muchos de los escritores del siglo XIX, Tennyson poseía cultura científica, y adaptó la propia descripción de Lyell del paisaje en permanente cambio para hacer hincapié en el hecho de que la civilización es una recién llegada en la prolongada historia de la Tierra:

> En aquella hondonada crecía el árbol.
> ¡Oh, tierra, los cambios que has contemplado!
> Donde rugen las agitadas calles
> yacía la calma del mar central[80].

5 - Evolución

> Empieza a percibir un contenido religioso a medida que aumenta su trascendencia… Sus [de Darwin] quinientas páginas solo merecen una conclusión: infinitas y hermosas formas de vida, como las que se ven en un simple seto, incluidos los seres elevados como nosotros mismos, surgieron de las leyes de la física, de la guerra de la naturaleza, el hambre y la muerte. He ahí el esplendor, y un tonificante consuelo en el breve período de privilegio de la conciencia.
>
> Ian McEwan, *Sábado* (2005)

«La naturaleza, de rojos colmillos y zarpas»; el poema *In Memoriam* de Tennyson evoca la competencia cruel que yace en la teoría de la evolución de Charles Darwin. Sin embargo, aunque fijarse en las fechas suele ser una forma aburrida de abordar la historia, a veces puede ser revelador. Tennyson publico su elegía nueve años antes de la aparición de *El origen de las especies* de Darwin en 1859. Darwin y la evolución se han convertido prácticamente en sinónimos; y no obstante, el concepto básico de cambio evolutivo se barajaba desde la época de su abuelo. El modelo de Darwin fue rechazado durante décadas y nunca se aceptó del todo; incluso la llamada síntesis darwiniana del siglo XX era muy distinta de la formulación original.

Darwin compite en la actualidad con Newton como principal genio científico de Gran Bretaña, pero su vida estuvo rodeada de polémica, una polémica virulenta y pública —uno de los motivos por los que Darwin pasó tanto tiempo prácticamente recluido en su casa del campo—. A sus críticos de la época victoriana les costaba aceptar que los seres humanos no fueron creados de forma independiente, sino que descendían de otros animales. Aunque en la época en que Darwin publicó su obra ya casi todo el mundo estaba de acuerdo en la existencia de algún tipo de evolución, innumerables caricaturas (como la de la Figura 38**[f38]**) lo representaban en forma de mono, el colmo de los insultos en la Gran Bretaña del XIX. En esta figura se han exagerado sus espesas cejas para darle un aspecto más simiesco, y su cola prensil es mucho más larga que su barba de filósofo. Este Darwin con aspecto

de simio hace un gesto de advertencia con su mano izquierda, una parodia de una bendición papal para burlarse de sus sacrílegas teorías.

Los debates sobre la evolución fueron despiadados, porque lo que estaba en juego iba mucho más allá de una hipótesis científica. Incluso las agrias discusiones sobre la Biblia no eran, hasta cierto punto, más que vistosos telones que cubrían grietas más profundas y dejaban escapar parte del vigor de pasiones más fundamentales. Las opiniones de las personas acerca de la evolución reflejan su ser más esencial, la forma en la que se percibían a sí mismos y su relación con el mundo. A través de la versión cristianizada de la *Gran Cadena del Ser* de Aristóteles, los europeos podían verse cómodamente instalados en la cima de una jerarquía inmutable, con instrucciones divinas para supervisar el mundo y utilizarlo para su propio beneficio. Los terratenientes ricos que habían heredado sus propiedades se aferraban a este tranquilizador punto de vista y se imaginaban a ellos mismos y a sus descendientes disfrutando de los privilegios que, según su visión, el propio Dios les había concedido. En contraste, los radicales políticos recibieron la idea del cambio con los brazos abiertos: si el mundo natural había evolucionado, la sociedad también podía transformarse para alejarse de la tradición y redistribuir la riqueza de la nación.

El origen de las ideas evolutivas se halla en la Francia prerevolucionaria, pero fue el abuelo de Darwin, Erasmus, el primero que las expresó coherentemente; bueno, siempre que no se examinen los detalles con demasiada exigencia. Su noción básica era que Dios había diseñado criaturas que podían mejorarse a lo largo del tiempo, una idea análoga a sus propias ambiciones como próspero médico de provincias, miembro de una creciente clase media que obtenía dinero y poder mediante sus propios esfuerzos en una Gran Bretaña en plena industrialización. Según Erasmus Darwin, se desarrollaban gradualmente órganos nuevos a medida que los padres transmitían sus propios pequeños avances a la siguiente generación, del mismo modo que él y su colega de la Lunar Society, Josiah Wedgwood, propietario de fábrica hecho a sí mismo, transmitirían más adelante sus riquezas combinadas a sus nietos, Charles y Emma Darwin. En otras palabras, los caracteres adquiridos durante la vida de un individuo podían heredarse.

El ejemplo clásico de este tipo de herencia a través de la experiencia vital es el de las jirafas, cuyos cuellos supuestamente se han estirado cada vez más a lo largo de muchas generaciones. Sin embargo, el hombre que se hizo célebre por este enfoque no fue Darwin, sino su joven contemporáneo, un naturalista francés de nombre Jean Lamarck, que trabajaba en el Museo de

Historia Natural de París. Lamarck adoptó la sugerencia de Georges Buffon de que, mientras el Universo se enfriaba poco a poco desde su estado de fusión original, las formas de vida se generaron espontáneamente. Aportando de su propia cosecha, Lamarck concibió unas formas de vida no fijas, sino en constante mejora; a pesar de que los organismos se originan en numerosas creaciones espontáneas distintas, todos ellos progresan avanzando por rutas predefinidas. Lamarck se hubiese sentido avergonzado al saber que actualmente se le recuerda por una parte relativamente trivial de su gran teoría. Para él, el punto crucial no era la herencia de caracteres adquiridos, sino el progreso continuo de la vida.

Por desgracia para Lamarck, su principal rival también trabajaba en el Museo de Historia Natural. Georges Cuvier, un experto en el tráfico de favores, se aseguró de lograr promociones, de que se escuchasen sus opiniones y de que Lamarck quedase eclipsado. De ideas políticas conservadoras, Cuvier consolidó su posición defendiendo la estabilidad y rechazando el principio de cambio de Lamarck. Sin embargo, aunque el propio Cuvier era contrario a la evolución, su obra supuso una profunda influencia en posteriores teorías evolutivas, ya que utilizó la anatomía para clasificar los animales en grupos. En lugar de centrarse en el aspecto externo de un ser vivo, Cuvier estudiaba su estructura interna. Por ejemplo, los elefantes, los peces y las serpientes pueden ser muy distintos entre sí en la superficies, pero Cuvier los agrupó como vertebrados, porque pensaba que las similitudes entre sus esqueletos los distinguían claramente de otros animales sin espina dorsal.

Una de las innovaciones fundamentales de Cuvier fue la división del reino animal en cuatro tipos básicos. Se trataba de un paso crucial, porque eliminó el orden jerárquico. A pesar de que creía que los vertebrados eran fundamentalmente distintos de los otros tres grupos, que pueden quedar representados por las ostras, las arañas y las estrellas de mar, no son intrínsecamente superiores. A muchos naturalistas les costó aceptarlo, pero Cuvier había establecido al menos la posibilidad de pensar de una forma no lineal, distinta de una cadena. Ni siquiera se dignó a considerar una ordenación interna; tanto los peces como los mamíferos, afirmaba, eran vertebrados, adaptados a la vida en hábitats diversos. Los naturalistas ingleses agregaron un toque teológico al utilizar el concepto de adaptación de Cuvier para apoyar su argumento de un Dios diseñador preocupado por su creación. La inventiva les bastaba para justificar cualquier cosa. Incluso «La naturaleza,

de rojos colmillos y zarpas» de Tennyson podía explicarse: los depredadores rescataban compasivamente a sus presas de la muerte por inanición.

Cuvier, arribista y oportunista, gustaba de jactarse de que era capaz de deducir el esqueleto completo de un animal a partir de un único hueso. Aunque se trataba de una exageración, con la aplicación de sus conocimientos anatómicos a los fósiles Cuvier logró introducir los argumentos paleontológicos en los debates sobre evolución. Los fósiles se consideraban desde hacía tiempo curiosidades de coleccionista, pero no eran fáciles de adaptar al relato bíblico de una creación inmutable. ¿Por qué los había creado Dios? ¿O se trataba quizá del resultado de algún poder oculto que actúa en el interior de las rocas? ¿Y qué eran aquellos gigantescos esqueletos con aspecto de elefante que habían empezado a desenterrar exploradores en Siberia y en América a finales del siglo XVIII?

Mediante el examen sistemático de los fósiles, Cuvier demostró anatómicamente que la Tierra había sido el hogar de especies que en la actualidad se habían extinguido. Los coleccionistas le enviaron muestras y dibujos de todo el mundo, y Cuvier demostró más allá de cualquier duda que los mamuts y mastodontes eran distintos de los elefantes modernos. Cuvier también llevó a cabo sus propias excavaciones en los alrededores de París. Al reconstruir vertebrados a partir de huesos fósiles de capas cada vez más profundas descubrió que, cuanto más antigua era la roca, más extrañas eran las criaturas que contenía. Siendo conservador acérrimo, Cuvier se negaba a aceptar el cambio; sostenía por el contrario que una serie de acontecimientos catastróficos habían eliminado las especies de cada era (aunque nunca explicó de modo satisfactorio de dónde procedían las siguientes). Sin embargo, a medida que las pruebas fósiles seguían acumulándose —incluidos algunos espectaculares dinosaurios—, los partidarios de la evolución se apropiaron de los resultados de Cuvier para apoyar sus propios puntos de vista.

Las actitudes políticas y religiosas desempeñaban un papel fundamental en los debates acerca de la evolución. Muchas personas estaban a favor del concepto lamarquiano de progreso, pero rechazaban la generación espontánea, que implicaba que la vida podía crearse a partir de materia, un enfoque materialista que transgredía las creencias cristianas. Para hacer más aceptable la idea de la evolución progresiva, un emprendedor escocés de nombre Robert Chambers presentó el cambio como parte del plan divino para todo el Universo. Chambers, un editor de clase media sin fortuna familiar, tendía políticamente hacia el progresismo. No solo pretendía ganar dinero para sí mismo, sino también utilizar sus imprentas de vapor para producir

lecturas baratas e instructivas que sirvieran para el avance de las clases obreras.

Astutamente, Chambers iniciaba su obra *Vestiges of the Natural History of Creation*, editado en 1844, con una serie de textos relativamente inocuos sobre astronomía, para luego pasar rápidamente a la geología progresiva y la evolución, imaginando un proceso —gobernado por leyes— de avance hacia formas de vida cada vez más complejas, de modo que a los peces, los reptiles y las aves les seguían los mamíferos y, finalmente, los seres humanos (previsiblemente, situaba a los hombres y la raza caucásica en una posición superior a la de las mujeres y las otras razas). Al principio, los críticos quedaron encantados con el mensaje democrático y el estilo elocuente del libro. Tennyson estaba radiante por haber hallado ideas tan similares a las suyas, e incorporó gran parte de la visión de Chambers en su elegía *In Memoriam*. Pero pronto *Vestiges* empezó a sufrir ataques; los científicos hallaron puntos débiles, los conservadores detestaban su enfoque materialista de la vida y la inteligencia y casi todo el mundo estaba horrorizado con la idea de descender de animales.

Las acérrimas críticas catapultaron las ventas del libro de Chambers, que causó sensación a nivel internacional. Cuando Charles Darwin editó su obra, quince años más tarde, casi toda la pasión antievolucionista se había calmado. Darwin había leído *Vestiges* solo unos meses antes de terminar un grueso borrador de su propio libro, y siguió con atención la controversia. La meta de Chambers era establecer una ley universal de la vida, y Darwin descubrió con alivio que Chambers ya se había adelantado a casi todas las posibles críticas que la propia teoría de Darwin era susceptible de recibir; empezó a revisar una de las más agrias críticas a Chambers «con miedo y temor, pero tuve el placer de ver que no había pasado por alto ninguno de los argumentos, aunque sí es cierto que la solidez con que me los había planteado dejaba que desear»[81]. No obstante, Darwin observó y esperó, posponiendo la publicación para evitar el castigo público y trabajando constantemente en su gran teoría. Meticuloso hasta un grado obsesivo, se embarcó en un estudio de los percebes que duró dieciocho años.

Darwin nunca había sido un gran candidato para el honor de ser considerado un genio. Estudiante mediocre, salió de la universidad con una pasión por los insectos y la geología, pero pocas ambiciones más allá de huir de la vida de clérigo que su padre le había preparado. Inspirado por Humboldt, Darwin navegó alrededor del mundo a bordo del *Beagle* y, con los *Elementos de geología* de Lyell como guía de viaje, interpretó los fenómenos

de los que fue testigo en términos de cambio. Por ejemplo, llegó a la conclusión de que los arrecifes de coral se habían alzado y descendido como el templo de Serapis de Lyell, con tiempo de sobras para sufrir lentas transformaciones. En Suramérica, Darwin descubrió fósiles similares a su singular fauna viva, y observó a los colonos europeos que habían sobrevivido adaptándose a su nuevo y ajeno entorno. ¿Acaso los animales se modificaban en función del ambiente que les rodeaba?

Aunque solía ser un coleccionista cuidadoso, por desgracia Darwin se perdió algunas claves importantes en las islas Galápagos, en donde se dedicó a llenar indiscriminadamente sacos de especímenes sin prestar suficiente atención a los nativos. Ya era demasiado tarde cuando se enteró a través de ellos que las tortugas de cada isla se podían distinguir por la forma de su caparazón, y se dio cuenta de que debió haber sido más cuidadoso al etiquetar sus ejemplares. El lío con los pájaros se resolvió (lo hizo otra persona) una vez que Darwin ya había regresado a Inglaterra; las diferencias en los picos de los pinzones de islas vecinas proporcionaron valiosas pruebas en apoyo de su teoría.

Durante un cuarto de siglo, Darwin observó, leyó y observó un poco más, y finalmente formuló su teoría de la selección natural. Su lírica prosa revela la escrupulosidad de su estudio y la emoción de su respuesta. «Hay grandeza», escribió en la famosa última frase de su libro sobre la evolución, «en esta concepción de que la vida, con sus diferentes fuerzas, ha sido alentada por el Creador en un corto número de formas o en una sola, y que, mientras este planeta ha ido girando según la constante ley de la gravitación, se han desarrollado y se están desarrollando, a partir de un principio tan sencillo, infinidad de formas, las más bellas y portentosas»**[82]**. De sus conversaciones con aficionados a la colombofilia y con granjeros, Darwin averiguó cómo obtenían nuevas variedades, seleccionando características específicas para modificar las aves y otros animales según las necesidades humanas. Aparte de estos productos de la selección artificial, Darwin acumuló innumerables ejemplos de adaptación natural: flores de trébol para distintos tipos de abejas, semillas de diente de león tan ligeras que el viento las transporta a grandes distancias, escarabajos de agua con vellosidades en las patas. A veces se dejaba llevar por sus propios deseos; ¿cómo era posible que creyese que las ballenas evolucionaron a partir de osos que nadaban con las bocas completamente abiertas para engullir los insectos acuáticos?

Darwin también reflexionó sobre las sociedades humanas. La obra de Thomas Malthus, un economista del siglo VXIII, le impresionó profundamente.

Malthus se oponía a la reforma social: si mejoras las condiciones y animas a las personas a reproducirse, apuntaba, la población superará rápidamente el suministro de alimentos disponible. En la época de Darwin, parecía que las funestas predicciones de Malthus se iban a convertir en realidad. Las poblaciones de las ciudades estaban aumentando y, a pesar de la prosperidad de la economía, el capitalismo industrial se cobraba un gran número de bajas. Darwin vivía cómodamente de su herencia, pero la muerte y la lucha por la supervivencia estaban por todas partes. Obreros en situación de pobreza extrema emigraban a Australia y África, en donde muchos de ellos morían al tiempo que diezmaban a la población local, que caía víctima de las enfermedades importadas de Europa.

La competitividad personal fue la responsable del último empujón que impulsó a Darwin a publicar su obra. Tras recibir una carta de un coleccionista desconocido de Malasia, Darwin tomó conciencia de que otras personas pensaban de forma similar a la suya. Protegido por sus aliados, decidió adelantarse a su rival y llevó a editar a toda prisa *El origen de las especies*. Darwin no solo sostenía la hipótesis del cambio —que en esos momentos ya era ampliamente aceptada—, sino que también presentaba su original concepto de selección natural basada en la lucha competitiva por la supervivencia. En un entorno hostil, afirmaba Darwin, cualquier organismo que cuente con una ventaja, aunque sea mínima, prosperará mejor; a lo largo de los eones de tiempo que Lyell había establecido, las características beneficiosas se transmitirán de una generación a otra, dando finalmente como resultado una especie nueva mejor adaptada a su entorno.

La primera edición se agotó de inmediato en las librerías, pero la temida hostilidad no tardó en hacer su aparición. Agrupándose en torno a Darwin, sus prestigiosos amigos se aseguraron de que la selección natural fuese tomada en serio; sin su apoyo, es posible que las críticas hubiesen relegado al libro de Darwin al olvido. Para muchos cristianos, la principal objeción consistía en la ausencia de Dios. Darwin había sustituido un Universo teleológico planificado por un diseñador divino por uno gobernado por el azar, sin guía moral que garantizase el progreso espiritual. En *El origen de las especies* apenas se menciona a la raza humana, y en esta etapa Darwin decidió mantener un prudente silencio acerca de la posibilidad de que los hombres y los simios fuesen parientes cercanos.

Aunque, al parecer, un clérigo calificó a Darwin de «hombre más peligroso de Inglaterra», el fundamento de los ataques no era únicamente religioso. Darwin describió su libro como una prolongada discusión, y tenía

razón. Los escépticos le acusaron de acumular un ejemplo tras otro para apoyar su teoría, en lugar de ofrecer una prueba definitiva. Darwin se calló diplomáticamente acerca de las cuestiones más peliagudas, pero los científicos le plantearon algunas preguntas realmente complicadas. ¿Dónde estaba, inquirían, la explicación del origen de los cambios? ¿Era acaso posible que un órgano tan complejo como el ojo humano hubiese podido emerger sin una planificación previa? ¿Cómo hicieron su aparición las primeras formas de vida? Consciente de que la generación espontánea era una tesis peligrosa, Darwin evitó enfrentarse al problema.

Recluido y parcialmente inválido, Darwin dejó que fuesen otros los que defendiesen su teoría por él; el latiguillo «supervivencia de los más aptos», por ejemplo, no fue un invento suyo. Años más tarde, cuando el escándalo ya había remitido, se atrevió a publicar sus puntos de vista sobre el ser humano. A pesar de la crueldad de las caricaturas, estas indican hasta qué punto las personas comunes estaban informadas de las controversias de la ciencia. La Figura 38 apareció en una revista popular ordinaria; sin embargo, los lectores necesitaban conocer con cierto detalle los últimos desarrollos para comprenderla. Las ascidias o chorros marinos (que los coleccionistas de la época conocían bien) son animales sedentarios que viven pegados a las rocas, pero que —según el propio Darwin— descienden de vigorosos organismos nadadores. Esta degeneración representaba la otra cara de la evolución entendida como progreso. Los victorianos estaban aterrorizados de la posibilidad del regreso a fases anteriores, es decir, de la decadencia de la civilización. Estos temores se hallaban en el centro de famosas novelas como *Drácula* y *Dr. Jekyll y Mr. Hyde*, y más adelante espolearon la propaganda de purificación racial nazi.

En esta caricatura se comenta también la actitud de Darwin hacia las mujeres. Este emotivo figurín vuelve el rostro para evitar la mirada del mono porque se está ruborizando, y Darwin está tomándole el pulso para indicar que la causa de su comportamiento es física e inherente a su naturaleza femenina. Darwin consideraba inferiores a las mujeres, y afirmaba que los atributos femeninos tradicionales —intuición, imaginación— eran «característicos de las razas inferiores y, por consiguiente, de una civilización anterior y menos avanzada»[83]. A partir del estudio de aves como los pavos reales, Darwin llegó a la conclusión de que el plumaje atractivo suponía una ventaja para los machos, porque atraía a las frívolas hembras que andaban en busca de una pareja adecuada. Los victorianos hallaban desagradables estos argumentos de selección sexual, no porque estuviesen en desacuerdo con su veredicto sobre

los gustos femeninos, sino porque Darwin había concedido a las mujeres un papel esencial: que su elección de compañero marcase el recorrido de la evolución. Como decía con sorna su crítico más mordaz, John Ruskin: «¿Qué hubiera sido de la raza humana si las jóvenes doncellas hubiesen preferido las narices azules, como las de los babuinos, para elegir a sus hombres?».

Igual que Linneo, Darwin sufría de los prejuicios de su época. Dando por descontado que las mujeres son vanidosas y frívolas, interpretó sus observaciones para construir una argumentación que confirmase de forma inevitable sus suposiciones. Como sus dictámenes iban acompañados del prestigio de la ciencia, podían utilizarse para justificar la discriminación, ya que permitían a las personas afirmar que las mujeres simplemente estaban hechas de esa manera y que no tenía sentido enfrentarse a la naturaleza. De forma similar, los políticos utilizaron la evolución darwiniana para apoyar el liberalismo económico, razonando que no debía tomarse medida alguna para aliviar la miseria de los obreros, pues eso sería actuar en contradicción con la despiadada lucha impuesta por la propia naturaleza. Citando la ley de selección natural, los industriales americanos amasaron grandes fortunas aplastando a sus rivales sin escrúpulo alguno, y los darwinistas alemanes apoyaron campañas políticas para establecer una raza superior y dominar Europa.

Sin embargo, hacia 1900, a pesar de que se había aceptado la evolución, la explicación de Darwin parecía haber perdido fuerza. Sus partidarios no habían podido hallar un mecanismo para explicar los cambios, y proliferaban las teorías rivales. Algunos científicos —incluido el propio Darwin— rescataron del olvido las opiniones de Lamarck sobre la herencia de caracteres adquiridos. Psicológicamente, el lamarquismo resulta atractivo porque se le puede dar un esperanzador giro teleológico: si los padres transmiten sus ventajas, eligen en cierto sentido la forma de enfrentarse con su entorno en lugar de dejarlo todo en manos del azar.

Otros oponentes hallaron por casualidad unos experimentos realizados años antes en un jardín por un desconocido monje austríaco, Gregor Mendel, y adaptaron sus resultados para desafiar la idea de selección natural. La genética mendeliana es actualmente un componente esencial del darwinismo moderno, pero durante veinte años los partidarios de ambas posturas estuvieron enfrentados. Los científicos victorianos cerraban filas alrededor de la idea de progreso, pero la historia de la evolución muestra que la ciencia no avanza de forma inexorable en línea recta. Mendel no escribió nada acerca de genes, y el darwinismo moderno es muy distinto del original de Darwin.

6 - Poder

Cuando el hombre quiso hacer una máquina que caminase inventó la rueda, que no se parece en absoluto a una pierna.

Guillaume Apollinaire, *Les Mamélles de Tirésias* (1918)

Cuando el viajero de *La máquina del tiempo* de H. G. Wells se desplaza millones de años en el futuro, se encuentra con un planeta sin vida: «La oscuridad aumentaba rápidamente… Todos los ruidos humanos, el balido del rebaño, los gritos de los pájaros, el zumbido de los insectos, el bullicio que forma el fondo de nuestras vidas, todo eso había desaparecido»[84]. Se trataba de una obra de ficción, pero estaba sólidamente basada en la ciencia del siglo XIX. Según los físicos británicos, la Tierra estaba llegando a su fin de forma inexorable e irreversible. Su vida, declaraban, era demasiado breve para que fuese posible un proceso prolongado como la selección natural de Darwin.

Las pruebas de esta inevitable muerte del Universo surgían de las máquinas de vapor. El paso de las calderas a la evolución puede parecemos extraño, pero el eslabón perdido era la energía, el concepto favorito para analizar la potencia y la productividad en la época victoriana. Las leyes de la energía surgieron de la nueva ciencia de la termodinámica, que encaraba los dos problemas más acuciantes en la Europa de la industrialización: el aumento de la eficiencia de las máquinas y el de la rentabilidad de las fábricas. La búsqueda de respuestas para estas cuestiones comerciales incrementó el poder de los físicos británicos, que se situaron como expertos nacionales cualificados para emitir su opinión sobre cualquier cuestión científica. El poder estaba íntimamente ligado a las leyes de la física victorianas.

Esta indisoluble combinación de física e industria tuvo lugar excepcionalmente pronto en Gran Bretaña. En Francia, Napoleón había invertido gran cantidad de dinero en la educación técnica, de modo que las matemáticas entraron en la ciencia mucho antes que en Gran Bretaña. La

industria, sin embargo, estaba estancada, víctima de una rígida centralización y un sistema educativo tan compartimentado que los institutos de ingeniería avanzada apenas tenían impacto en los desarrollos prácticos. La investigación teórica emprendida por los ingenieros franceses fue en cambio adoptada por los físicos británicos, que exploraron la aplicación de los principios matemáticos de la termodinámica a los aparatos reales de las fábricas, en lugar de a máquinas ideales sobre el papel. Una de sus conclusiones se convirtió en la llamada Segunda Ley de la Termodinámica, y fue esa ley la responsable de la funesta e irrevocable escena de la novela de Wells.

La Segunda Ley de la Termodinámica ha adquirido reputación de incomprensible, pero en realidad se basa en dos observaciones de puro sentido común. En primer lugar, el calor no puede pasar de un cuerpo frío a otro más caliente sin qué se le fuerce a hacerlo; un frigorífico necesita un motor para enfriar el aire que contiene. En segundo lugar, por bien ajustada que esté una máquina, su eficiencia nunca es del 100 por 100: constantemente, pequeñas cantidades de energía se pierden en forma de fricción o calor. Basándose en estas realidades cotidianas, los físicos pintaban un panorama desolador: una vez perdida la energía, no es posible recuperarla, es decir, deja de estar disponible para llevar a cabo trabajo útil alguno. Finalmente, todo el universo se enfriará alcanzando la misma temperatura y las moléculas dejarán de moverse. En el cosmos de la uniformidad, la organización desaparecerá y el flujo de información se detendrá.

La predicción del fin del mundo puso a la física al mismo nivel que la Biblia, y concedió a la vida en la Tierra una cualidad ausente en la evolución por selección natural de Darwin. El mayor defensor de la muerte por pérdida de calor fue el más célebre de los físicos de la época victoriana, William Thomson, que logró la, por aquel entonces, novedosa gesta de hacerse rico y famoso con la ciencia. Este profesor escocés es especialmente conocido por ser el responsable del tendido del cable telegráfico transatlántico, pero ese no fue más que uno de los lucrativos proyectos de ingeniería que impulsaron a la reina Victoria a honrarlo con el título de barón Kelvin de Largs. Kelvin, defensor acérrimo de los argumentos termodinámicos, impuso a los geólogos la incorporación de métodos tomados de la física para calcular la edad de la Tierra. Según su punto de vista, el Sol es la central de energía de la Tierra, y se oponía a la evolución argumentando que la energía solar no habría bastado para mantener la Tierra en marcha durante los largos eones necesarios en la teoría de Darwin. Obstinado hasta el final de su larga vida, Kelvin no admitió

jamás la derrota, y se negó a reconocer que el poder oculto de la radioactividad proporcionaba una fuente de energía adicional.

Al unir ciencia, ingeniería y economía, Kelvin adquirió una inmensa fortuna, pero también perpetuó los valores ahorrativos de los industriales del norte: es necesario ahorrar energía, evitar el derroche, ejercer la autodisciplina. Kelvin llevó su ética del trabajo cristiana de las fábricas a los laboratorios, convirtiendo la energía en una herramienta básica de la física del período victoriano. Anteriormente, los físicos británicos, siguiendo la guía de Newton, se habían centrado en las fuerzas entre objetos individuales, pero durante el siglo XIX empezaron a evaluar las posibilidades de trabajo y movimiento contenidas dentro de un sistema. Por ejemplo, en electricidad, en lugar de describir cómo se atraen o repelen las partículas cargadas, Faraday desarrolló su teoría de campos imaginando líneas de nivel de energía que ocupan todo el espacio, y el flujo de la electricidad de puntos del campo con alta energía potencial a otros con niveles más bajos.

Los científicos teóricos estaban decididos a demostrar que sabían más acerca de la eficiencia de los sistemas telegráficos que los ingenieros. Aunque desde un punto de vista práctico era razonable imaginar la electricidad como agua circulando por una tubería, Kelvin adoptó el enfoque más conceptual de Faraday para analizar cómo se propagan de forma invisible los campos electromagnéticos por los hilos metálicos en el interior de un cable. El más influyente de los físicos que se dedicaban a la teoría de campos era otro profesor escocés, James Clerk Maxwell, que viajó hacia el sur para fundar el laboratorio Cavendish en Cambridge, el cual se convirtió enseguida en un centro de investigación puntero. Mientras que el práctico Kelvin solo creía en aquello que podía medir, Maxwell trabajaba en un plano más abstracto para construir analogías matemáticas imaginarias. Con su enfoque matemático, a Maxwell le interesaba más desarrollar ecuaciones funcionales que trabajar en su aplicación a la realidad física.

Maxwell afirmaba que la totalidad del espacio está llena de un *éter* electromagnético invisible, que imaginaba como se muestra en la Figura 39**[f39]**, una sección transversal en forma de panal con líneas de fuerza en forma de tubos llenos de un fluido incompresible. Los torbellinos hexagonales de fluido están separados por engranajes de transmisión que representan diminutas partículas que el flujo de corriente empuja lateralmente. Las pequeñas flechas indican la rotación del fluido dentro de los tubos en sentido antihorario; la función de los engranajes de transmisión es girar en la dirección opuesta para así coordinar el movimiento del fluido

(aunque el dibujo contiene errores debajo de la línea AB, donde varias flechas señalan en la dirección incorrecta). Las muestras de incredulidad llevaron a Maxwell a admitir que, aunque el diagrama no representaba el éter con exactitud, sí ofrecía un inestimable modelo conceptual; después de todo, señaló, un planetario tampoco es idéntico al Sistema Solar.

Para Maxwell, la energía electromagnética de su campo era equivalente a la energía mecánica que impulsaba los equipos industriales. En el extranjero se criticaba con mordacidad la manía británica por las poleas y las bombas. «Pensábamos que íbamos a entrar en la ordenada y serena morada de la razón», se burlaba un físico francés, «y en cambio nos encontramos en una fábrica»[85]. Pero la intención era, precisamente, esa: un único conjunto de leyes físicas podía igualmente utilizarse para describir tanto el éter como las máquinas. Al menos, así era en Gran Bretaña. En principio, durante la segunda mitad del siglo XIX, los experimentadores de toda Europa tenían amplias oportunidades para conocer los resultados de los demás; se producían cada vez más revistas, las comunicaciones mejoraban y no había ninguna gran guerra en marcha. Sin embargo, los investigadores solían hacer caso omiso de las teorías extranjeras, cuando no intentaban refutarlas. A pesar de las retóricas afirmaciones acerca de la libre circulación de conocimientos dentro de la comunidad científica, los científicos desarrollaron estilos nacionales propios.

Las diferencias más notables se daban entre Alemania y Gran Bretaña, dos grandes potencias industriales con opiniones muy distintas sobre la forma y el lugar donde se debía producir la ciencia. Mientras que las investigaciones sobre energía en Gran Bretaña surgían de los ingenieros económicos, en Alemania fueron los fisiólogos los que desarrollaron las leyes sobre energía. A mediados del siglo XIX, los científicos alemanes pretendían desmarcarse de los *Naturphilosophen*, y se propusieron eliminar todo rastro de imprecisión de la fisiología mediante la medición de los cuerpos con la misma exactitud que se medían los aparatos de las fábricas. Como señaló el homólogo alemán de Kelvin, Hermann Helmholtz: «La idea de trabajo se traslada a las máquinas mediante la comparación de su comportamiento con el de los hombres y animales… Aún medimos el trabajo efectuado por las máquinas de vapor en caballos de vapor»[86].

Helmholtz, como Kelvin, era el científico más notable de su país, pero ahí se acaba cualquier parecido entre ambos. Educado en la filosofía alemana y la física matemática francesa, Helmholtz concebía un cosmos ordenado por las fuerzas newtonianas, no por la vibración de un éter ni por la energía contenida

en un campo. Mientras que Kelvin había llevado la física de la academia a la industria, la formación original de Helmholtz era médica (financiada por el ejército) y más adelante se convirtió en un experimentador universitario. Como fisiólogo cuantitativo, Helmholtz llevó la precisión numérica a su universo mecánico, insistiendo en el equilibrio entre entradas y salidas, una versión primitiva de la ley que dice que la energía no se puede crear ni destruir, sino que se conserva. A partir de la tradición química de Alemania, Helmholtz analizó el proceso de los alimentos en los motores humanos, considerando a la naturaleza como un inmenso almacén de energía disponible para impulsar, no solo los molinos y las máquinas de vapor, sino también a las personas.

Siguiendo el modelo alemán de enseñanza, Helmholtz se rodeó de un grupo de acólitos admiradores que trabajaban bajo su estricta supervisión. El más privilegiado de sus estudiantes fue Heinrich Hertz, un ingeniero convertido en físico que heredó la lealtad teórica de Helmholtz a las fuerzas newtonianas. En opinión de Hertz, Maxwell estaba totalmente equivocado. Hertz creía que los efectos eléctricos «saltan» en cierto modo el espacio vacío en lugar de ser transportados por un éter; sin embargo, al cabo de años de meticulosos experimentos, su opinión empezó a cambiar. En una espectacular serie de demostraciones, Hertz mostró que la electricidad se comporta como ondas que viajan a través de un fluido, que incluso las refleja y las refracta, indicando así su estrecha similitud con las ondas de luz. Con el entusiasmo de los conversos, Hertz escribió que no podía caber la menor duda acerca de las teorías matemáticas de Maxwell, ya que sus experimentos las habían demostrado de forma incontrovertible.

En Gran Bretaña, los físicos teóricos estaban encantados. Hertz había confirmado sus hipótesis y —no menos importante— había justificado su superioridad sobre los ingenieros prácticos. A diferencia de Hertz, que se consagró a la revisión de las teorías electromagnéticas de Maxwell, los científicos británicos se afanaron con entusiasmo en explorar las posibilidades comerciales de las ondas eléctricas. Uno de los colegas de Maxwell señalaba que, mientras que los rayos de luz quedan bloqueados por los muros y por la niebla londinense, las ondas de radio (como se las conoce actualmente) pueden atravesarlos sin problemas. ¿Sería posible establecer un nuevo tipo de telegrafía que no precisase de costosos cables subterráneos? Siempre interesado en obtener rentabilidad de la ciencia, el gobierno británico dio su apoyo a un inventor italiano de nombre Guglielmo Marconi. Y la inversión valió la pena. En 1901, Marconi envió un mensaje por el aire desde

Cornualles a Terranova y, por primera vez, ambas orillas del Atlántico se pusieron en contacto prácticamente instantáneo. Al inicio del siglo XX, las ondas de radio habían logrado reducir las distancias.

Otra de las diferencias cruciales entre la ciencia alemana y la británica era su organización. Gran Bretaña seguía siendo el país del libre mercado, en el que la ciencia mantenía estrechos lazos con los intereses comerciales. En Alemania, en cambio, era el estado quien decidía las inversiones en educación científica. Los reformistas estaban inspirados por Justus von Liebig, un dinámico químico que durante el segundo cuarto del siglo XIX convirtió su pequeña escuela para farmacéuticos de provincias en un gran centro internacional de química orgánica. La gran innovación de Liebig consistió en combinar investigación y educación. Aparte de enseñar a los estudiantes a utilizar sus sofisticados instrumentos de medida, también les asignaba proyectos individuales para complementar las propias investigaciones de Liebig. Mediante la gestión y educación de esta fuerza de trabajo colectiva, Liebig se convirtió en el químico más influyente de Europa, y su laboratorio pasó a ser un eficiente generador de conocimientos químicos. Muchos de sus graduados transmitieron las ideas de Liebig a los campos de la farmacia, la industria y la agricultura.

Con la financiación del estado, las universidades alemanas empezaron a montar laboratorios siguiendo el modelo de Liebig: un severo profesor que alentaba a los estudiantes a participar en proyectos y seminarios para perpetuar su propio estilo de investigación. Se fundaron institutos especiales de física experimental, dedicados a la formación de graduados que impulsasen las industrias de manufactura de Alemania. Se mejoró también la educación secundaria con la introducción de un nuevo escalón de escuelas técnicas con un enfoque práctico: ciencia, tecnología, idiomas modernos. Hacia la década de 1870, los resultados ya eran bien visibles: el nivel general de conocimientos científicos era mucho más alto en Alemania que en el resto de Europa, y su industria era floreciente. Los capitalistas alemanes habían transformado la formación sistemática en un producto, tan esencial para el poder económico como los aparatos modernos o las grandes fuerzas laborales.

La ciencia es actualmente tan ubicua que, mirando en perspectiva, su propagación por todo el mundo nos parece inevitable. Sin embargo, aunque muchos otros países aspiraban a lograr el éxito de Alemania, los caminos que siguieron para ello fueron extremadamente dispares. En Gran Bretaña, por ejemplo, el apoyo financiero del gobierno siguió siendo relativamente reducido, y no existió una formación técnica eficaz hasta bien entrado el

siglo XX. Algunos científicos sí instalaron laboratorios especializados —como el Cavendish de Maxwell en Cambridge— pero, a falta de una organización estatal, los centros de investigación dependían de la iniciativa de individuos (en Liverpool, un profesor estableció un departamento de física en una antigua clínica mental, aprovechando incluso la celda acolchada).

La influencia de Alemania se dejó sentir de forma más directa en Estados Unidos. Sin embargo, en lugar de importar íntegramente el sistema alemán, las universidades lo incorporaron en las instituciones angloamericanas ya existentes. Crearon así una nueva entidad, la *Graduate School* o Escuela de Graduados, en la que los estudiantes recibían formación de un grupo de expertos, en lugar de agruparse alrededor de una única figura de influencia. Estas escuelas de graduados norteamericanas ofrecían un enfoque cuidadosamente estructurado de la educación superior, proporcionando a sus alumnos no solo habilidades de investigación especializadas, sino también la posibilidad de ascender de forma sistemática hasta llegar a la cima de su profesión. A finales del siglo XIX, Estados Unidos se había convertido en una potencia científica por derecho propio.

La ciencia tecnológica no se expandió de forma uniforme por el mundo, sino que se adaptó y modificó para ajustarse a las peculiaridades locales. En Japón, por ejemplo, se produjo en 1868 un espectacular cambio de régimen político, cuando los emperadores Meiji accedieron al poder e iniciaron la apertura del país al mundo exterior. De repente, Japón empezó a importar formación en ciencia y tecnología y transformó por completo su organización científica. El Ministerio de Educación puso en marcha intensivas campañas para publicitar los logros europeos y empezó a imprimir libros traducidos y a distribuir carteles en los que se mostraban momentos legendarios de la inspiración científica, como Watt y su tetera o Franklin y su cometa. Estos héroes de la ciencia se utilizaron para promocionar la importancia del trabajo paciente y dedicado, el significado tradicional de la palabra «industria». Bajo su secular sistema feudal, los japoneses habían servido con lealtad a los caudillos locales, y los nuevos científicos profesionales traspasaron esta fidelidad a la nación. A principios del siglo XX ya estaban llevando a cabo investigaciones de categoría internacional, aunque esta abrupta transición partiendo del aislamiento del pasado dejó un duradero legado: hasta más allá de la segunda guerra mundial se seguía acusando a los ingenieros y científicos japoneses de apoyarse en exceso en las innovaciones occidentales en lugar de crear sus propias ideas.

La introducción de la ciencia no fue un proceso uniforme, ni siquiera dentro de cada país. En China, la astronomía europea había llegado por primera vez con los misioneros jesuitas, en el siglo XVII. Puesto que la misión principal de estos misioneros era lograr conversos al catolicismo evitaron comentar las polémicas teorías de Copérnico y Galileo, pero sí intentaron —a menudo sin éxito— impresionar a sus anfitriones con sofisticados instrumentos. Algunos astrónomos chinos prefirieron resucitar las técnicas de sus propios predecesores. No fue hasta la segunda mitad del siglo XIX, cuando las potencias imperiales estaban interfiriendo con la política interna de China, que una nueva oleada de misioneros protestantes impusieron un estilo europeo de educación en grandes sectores de la población, y el gobierno empezó a regañadientes a enseñar ciencia moderna.

Así mismo, los habitantes de las colonias británicas no siempre recibían con los brazos abiertos la llegada de maquinaria pesada y la imposición de nuevos planes de estudio. En la India del siglo XIX, las personas más ambiciosas de las clases medias decidieron que les interesaba colaborar con los colonos británicos para garantizar su parcela de poder, pero otros grupos no fueron tan receptivos. Los granjeros se oponían a la mecanización, porque opinaban que sus técnicas tradicionales de arado y siembra eran más eficaces para las condiciones locales; presionados por ellos, los científicos británicos revisaron sus propias prácticas e incorporaron los conocimientos indígenas. Muchos hindúes creían que la medicina importada no funcionaba y preferían confiar en antiguos remedios antes que contaminar sus cuerpos con sustancias químicas extranjeras. Al llegar el siglo XX, los nacionalistas hindúes en pos de la independencia de su país habían convertido la ciencia europea en un símbolo de la opresión británica.

Desde el punto de vista de los capitalistas europeos, el progreso científico se tradujo en poder tanto doméstico como exterior, ya que las nuevas tecnologías como el transporte de vapor o la red telegráfica les permitían controlar grandes zonas del mundo. Muchos imperialistas creían seriamente que estaban mejorando las vidas de los conquistados, y les costaba comprender las respuestas poco entusiastas que recibían. Actualmente los políticos tienen más en cuenta el potencial dañino de la ciencia. Quizá los científicos debieron haber prestado más atención a las palabras de Mahatma Gandhi en 1928, cuando los exhortaba a autocontrolarse. «Que Dios no permita que la India se lance a una industrialización al estilo occidental», proclamaba. «Si una nación de 300 millones de personas se dedicase a una

explotación económica de ese tipo, el mundo entero quedaría asolado como por una plaga de langostas»[87].

7 - Tiempo

Una mujer que es como un reloj suizo:
siempre en el taller, fuera de tono,
nunca a su hora, siendo un reloj,
¡pero siempre a la espera por si funciona!

William Shakespeare, *Trabajos de amor perdidos* (1595)

Saber la hora implica control. Cuando se introdujeron a finales del siglo XIII, los relojes mecánicos impusieron en las actividades tradicionales de los pueblos y villas la regularidad de los ritos de la Iglesia; seiscientos años más tarde, relojes mucho más precisos imponían una disciplina aún más estricta sobre la sociedad. En París, durante la década de 1880, había relojes repartidos por toda la ciudad coordinados mediante golpes de aire comprimido que se enviaban a través de tuberías subterráneas desde una sala de máquinas central. Los ciudadanos que quisieran utilizar este sistema neumático podían visitar un lujoso salón iluminado por una lámpara en forma de Estatua de la Libertad inconsciente de las restricciones impuestas por la automatización centralizada. Estos adinerados clientes habían sido absorbidos por el culto a la precisión.

Durante el siglo XIX, la precisión de las mediciones se convirtió en algo obsesivo. Cuando un inventor americano presentó un instrumento óptico recién fabricado dotado de una asombrosa escala de 43 000 líneas por pulgada, los científicos alemanes quedaron consternados por haber perdido la carrera de la alta precisión. A los soldados británicos se les ordenaba contar cuántos postes telegráficos pasaban a toda velocidad junto a la ventana del tren cada milla, un solitario meteorólogo efectuaba observaciones cada hora durante doce años, y el astrónomo John Herschel esperaba habitualmente durante dos horas en el frío aire nocturno hasta haber alcanzado la misma temperatura que su telescopio.

Los victorianos valoraban la precisión como un carácter distintivo de la ciencia moderna. Sin embargo, igual que el tiempo, la precisión no es un ente

abstracto absoluto, sino que requiere llegar a un compromiso. Cuando los psicólogos americanos introdujeron los *test* de inteligencia para vetar a los posibles inmigrantes, las puntuaciones generadas respaldaban su afirmación de que los europeos eran superiores a los judíos, los italianos y los negros. Sin embargo, saber que la puntuación de una persona es de 105,106 o 107 es irrelevante a menos que haya un consenso general sobre lo que representa esa puntuación. Así mismo, los científicos deben decidir si el valor que se muestra en la escala de un instrumento es válido, si lo que registra es útil.

Saber con seguridad que un instrumento está mostrando una lectura correcta es más complicado de lo que podría parecer. Una de las precauciones que se pueden tomar es llevar a cabo comprobaciones prácticas: comprobar que el instrumento no está desgastado, que es capaz de soportar condiciones climáticas extremas, que el resultado es el mismo para cualquier observador (observador entrenado, se entiende). Pero hay en juego algunas cuestiones aún más fundamentales. Ningún aparato ofrece exactamente el mismo valor todas las veces; pero, si se quiere derribar una teoría antigua con una lectura nueva, ¿basta con estar seguro de su precisión en un 99 por 100 o se necesita un 99.999 99 por 100? Y, si dos científicos expertos obtienen resultados diferentes, ¿cómo se decide cuál se debe elegir? Para resolver estas cuestiones es necesario el consenso.

Los científicos se vieron forzados a enfrentarse a estos problemas con el crecimiento de la red telegráfica, que exigía coordinación internacional. Los ingenieros británicos, que tenían la intención de ejercer el control del imperio en el nivel eléctrico, tenían que asegurarse de que lo que funcionaba en la metrópoli podía replicarse perfectamente en la India o en África. Como explicaba James Clerk Maxwell en la *Encyclopaedia Britannica*, «las ecuaciones a las que debemos llegar deben ser tales que una persona de cualquier nacionalidad pueda sustituir los valores numéricos de las cantidades medidas en sus propias unidades nacionales y obtener un resultado cierto»**[88]**. Cuando los expertos del telégrafo compilaron tablas de conversión comparando los resultados obtenidos por experimentadores de diversos países descubrieron que, a pesar de que las lecturas se habían registrado con varias cifras significativas, los resultados no coincidían.

El establecimiento de estándares universales desencadenó una tremenda controversia. El orgullo nacional estaba en juego, y los chovinistas británicos se opusieron a los planes de Francia para resucitar el sistema métrico, que había sido abandonado pocos años después de su introducción durante la Revolución Francesa. Algunos arqueólogos británicos sostenían que la

medida de una pirámide egipcia en yardas revelaba la inspiración divina de sus antiguos constructores para crear proporciones perfectas. El propio astrónomo John Herschel, un personaje realmente influyente, describía cómo los topógrafos militares en la India habían demostrado que el metro no es una fracción exacta de las dimensiones de la Tierra. En todo caso, proseguía, puesto que el imperio británico domina el mundo, todos los demás deberían adaptarse a nosotros. Quizá este tipo de argumentos no suenen demasiado científicos, pero demostraron ser poderosos: Maxwell persuadió al resto del mundo para aceptar los estándares electromagnéticos establecidos en su laboratorio de Cambridge.

De todas las magnitudes sobre las que se debatía, la más esencial era el tiempo. Hasta mediados del siglo XIX, cada ciudad utilizaba su propia hora local, y los residentes ponían en hora sus relojes según las estrellas y el Sol. Cuando los trenes empezaron a enlazar lugares situados a centenares de kilómetros de distancia, la coordinación de los relojes en toda la red pasó a ser una cuestión vital. En Gran Bretaña, las compañías ferroviarias acordaron utilizar la hora de Londres, medida a diario en Greenwich según la posición de las estrellas y transmitida por todo el país mediante señales telegráficas enviadas a través de los raíles. La situación en otros países era más complicada. En Francia, los trenes circulaban según la hora de Rouen, cinco minutos retrasada respecto de París, donde los relojes del interior de las estaciones estaban retrasados cinco minutos con respecto de los del exterior. Estados Unidos era un país tan inmenso que se decidió establecer varias zonas horarias internas, un compromiso que más adelante adoptó el resto del mundo.

Con el establecimiento de redes eléctricas internacionales de comunicación, los países se vieron forzados a colaborar más estrechamente que nunca y acordar sistemas de medida estándar para que todo el mundo marcase el mismo ritmo de relojería. Las señales de telégrafo y radio unieron regiones remotas en un único sistema, logrando de hecho que las distancias se acortasen y que la información se pudiese distribuir de inmediato en lugar de tardar semanas o meses. Igual que había sucedido con los trenes, la introducción de estas nuevas tecnologías no solo supuso nuevas oportunidades de control centralizado, sino que también hizo surgir nuevas demandas de coordinación, en esta ocasión a escala mundial.

La colaboración internacional era esencial para la elaboración de mapas, una tarea que exigía precisión en la medida del tiempo. El problema principal era que los topógrafos que medían la longitud necesitaban medir la separación

horaria entre dos puntos de la misma latitud para conocer la distancia entre ambos. Desde principios del siglo XVIII, una época en que no eran raros los desastres marinos debidos a que los barcos se apartaban de su rumbo sin darse cuenta, ya se venían ofreciendo premios para quien fuese capaz de desarrollar una técnica fiable. Muchos inventores plantearon ingeniosas sugerencias para su consideración; una vez eliminadas las más peregrinas, parecía claro que la mejor solución consistía en un reloj. Por desgracia, hasta los instrumentos más robustos no eran lo bastante eficaces para mantener una precisión suficiente durante la larga y accidentada travesía del Atlántico.

Finalmente, el telégrafo pareció ofrecer una solución. Puesto que las señales eléctricas viajan de forma prácticamente instantánea, las horas locales de lugares separados por cientos de kilómetros de distancia podían compararse casi simultáneamente. Los cartógrafos tuvieron que abandonar el hábito de situar su propia capital en el centro de sus mapas del mundo y acordaron un sistema de numeración universal para la longitud. Y de nuevo fue Gran Bretaña la que imperó: en 1884, un comité internacional decidió trazar la línea cero a través de Greenwich (aunque los franceses siguieron utilizando París hasta 1911).

Con el incremento de la precisión, las personas empezaron a preocuparse por errores de precisión cada vez más pequeños. Mientras que antes del siglo XIX la exactitud de la hora era tan intranscendente (y complicada de lograr) que muchos relojes carecían de minutero, en la década de 1880, los ciudadanos que se conectaban a la red neumática subterránea de París se quejaban de que las inyecciones de aire comprimido tardaban varios segundos en llegar desde el control central a las diversas zonas de la ciudad. A finales del siglo XIX, todas las metrópolis importantes estaban instalando redes de relojes conectados entre sí eléctricamente para garantizar que la hora mostrada en todos ellos fuese idéntica.

Uno de los aspectos más acuciantes de este problema afectaba a los topógrafos telegráficos, que debían tomar en consideración los diminutos períodos (fracciones de segundo) necesarios para que una señal alcanzase su destino en el otro lado del mundo. Si se exigía una gran precisión, incluso los errores mínimos en la coordinación de tiempos podían suponer discrepancias significativas en la medida de distancias. La carrera de la longitud resurgió en su versión del siglo XX: entusiastas inventores empezaron a diseñar aparatos para sincronizar relojes de todo el mundo. Con la intención de proteger las fortunas que tenían previsto cosechar, solicitaron sus patentes en Suiza, centro mundial de fabricación de relojes. Muchos de sus diseños acabaron en el

escritorio de un filosófico físico más interesado en la termodinámica que en el tiempo: el oficial de patentes Albert Einstein.

Einstein se ha convertido en un símbolo de la dificultad de comprensión teórica. Para la mayoría de personas, las ecuaciones de la Figura 40[f40] son garabatos sin sentido; sin embargo, los visitantes se apiñan para admirar esta pizarra cuidadosamente conservada en Oxford desde 1931 (su análoga en Cambridge se tiró a la basura hace años). Cuando Einstein escribió estas ecuaciones, el público empezó a escabullirse gradualmente de su supuestamente introductoria conferencia sobre relatividad. «No les culpo», comentaba un científico; «aunque sus matemáticas sean lo bastante buenas como para seguir a Einstein, seguro que su alemán no lo es»[89]. Estos cálculos en concreto concluyen con la estimación que hizo Einstein acerca de la edad de la Tierra; le preocupaba que las pruebas más recientes demostrasen que se equivocaba. En aquella época ya había dejado de trabajar en la oficina de patentes suiza, y había transformado su experiencia con los problemas prácticos de medición del tiempo en modelos matemáticos de todo el cosmos.

«No entiendo por qué», respondió Einstein a un periodista del New York Times en 1944, «nadie me comprende pero le caigo bien a todo el mundo». Era una pregunta retórica, la que le formuló el periodista, claro está, pero intrigante de todos modos. ¿Por qué se hizo famoso en el mundo entero el creador de una críptica teoría cosmológica? Antes de que Einstein cumpliera los cuarenta años, nadie había oído hablar de él fuera de un reducido círculo de físicos matemáticos. Su primera aparición en los titulares internacionales ocurrió en 1919, cuando una expedición británica que fue a investigar un eclipse de Sol confirmó su teoría de la relatividad general. Pronto, los característicos cabello revuelto y bigote gacho de Einstein se convirtieron en la identificación del héroe que se había atrevido a desafiar intelectualmente a Isaac Newton… y había vencido.

Como muchos héroes científicos, Einstein era un experto propagandista de sí mismo, un entusiasta conferenciante al que le encantaba contar cómo su teoría de la relatividad había revolucionado el concepto de tiempo. «Una hora en compañía de una chica guapa en un banco del parque parece un minuto», bromeaba, «pero un minuto sentado sobre una estufa caliente parece una hora». Einstein no era el único que, estaba fascinado por el tiempo: muchos artistas, músicos y escritores de vanguardia pretendían también hallar nuevas formas de representar el mundo, y afirmaban que la física los estimulaba. Para su indignación, «todo es relativo» se convirtió en un latiguillo popular; la frase no tenía sentido alguno, pero se vio reforzada por la idea de que Einstein

era una especie de genio sobrenatural que había creado una teoría incomprensible para los simples mortales.

El primer artículo de Einstein sobre relatividad, publicado en 1905, no tenía referencias ni notas a pie de página, como si se tratase de una solicitud de patente enviada por un inventor que afirmara su originalidad. Aunque su aparición se presenta actualmente como un suceso transcendental, no se produjo ninguna revolución inmediata. La teoría de la relatividad se desarrolló y se puso a prueba a lo largo de muchos años, y algunos aspectos no se confirmaron experimentalmente hasta medio siglo después; de hecho, la famosa ecuación $E = mc^2$, que relaciona energía, masa y la velocidad de la luz, no aparecía en el documento inicial de Einstein.

La relatividad acababa con la percepción de *sentido común* del tiempo y del espacio establecida por Newton tres siglos antes. Para Newton, el espacio es fijo y el tiempo fluye hacia delante de forma inexorable a un ritmo constante. Para Einstein, el tiempo depende de dónde te encuentres y de la velocidad a la que te muevas, así que solo tiene sentido definir un tiempo personal con respecto a —relativo a— otra cosa. En el cosmos relativista de Einstein, solo una cantidad parece ser la misma para todo el mundo: la velocidad de la luz. Con este postulado básico, Einstein eliminó las conjeturas acerca del éter de Maxwell. Los científicos habían tratado de averiguar cómo puede ralentizarse la luz si se mueve en dirección opuesta a un éter que gira en remolino alrededor de la Tierra (o impulsada a mayor velocidad por un éter que la empuja desde atrás), pero la relatividad acabó con la necesidad de tales hipótesis.

Einstein creó dos versiones de su teoría. La Teoría Especial de 1905 es comparativamente simple desde el punto de vista matemático; sin embargo, diez años más tarde, Einstein publicó su Teoría General, más completa, que tiene en cuenta la gravedad y efectúa algunas extrañas predicciones: la luz se curva al pasar cerca del Sol y los viajeros espaciales serán más jóvenes que los amigos que dejaron atrás en la Tierra al iniciar su periplo. Los humoristas se cebaron con estos estrafalarios fenómenos. En una caricatura de la revista Punch aparecían unos policías atrapando a un caco con antorchas cuyos rayos se doblaban en las esquinas; un ingenioso poeta compuso el siguiente *limerick*:

> There was a young lady named Bright,
> Who travelled much faster than light.
> She started one day
> In the relative way,
> And returned on the previous night.

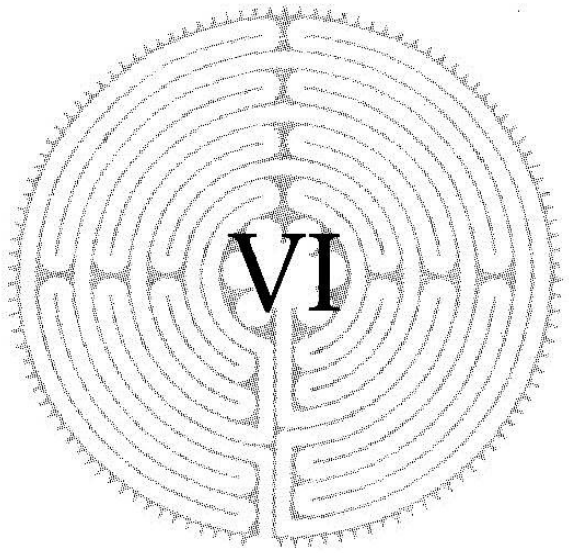
(Una joven dama de nombre Bright
viajaba más rápido que la luz.
Partió un día
de forma relativa
y regresó la noche anterior).

Estos versos contienen al menos tres distorsiones científicas: Ms. Bright moriría mucho antes de adquirir la velocidad suficiente como para verse afectada por la relatividad; no hay nada que pueda viajar más rápido que la luz; y el orden de los sucesos nunca puede cambiar, solo el intervalo de tiempo entre ellos.

Pero, por confusas que fuesen las bromas, funcionaban bien, porque el inventor de la relatividad era famoso; y su efecto no fue el de ridiculizar a Einstein, sino el de popularizarlo. Sin embargo, al examinar su obra en detalle, no está tan claro que fuese merecedor de tales honores. Para empezar, para el desarrollo de sus teorías, Einstein se apoyó en el trabajo de otros matemáticos. Incluso la confirmación experimental de la Teoría General tiene un aspecto sospechoso. Einstein se convirtió de pronto en una estrella mediática en 1919, cuando una expedición británica dirigida por el astrónomo de Cambridge Arthur Eddington demostró supuestamente que Einstein tenía razón y Newton se equivocaba. La planificación de esta expedición se inició dos años antes, cuando Eddington buscaba la forma de que no lo detuviesen por objeción de conciencia durante la guerra. Para justificar el gasto en un proyecto no militar, Eddington se comprometió, *a priori*, a confirmar a Einstein, e hizo que las pruebas necesarias pareciesen simples.

Según la teoría de Einstein, la luz de una estrella distante es afectada por la gravedad al pasar cerca del Sol. Eso significa que, para las personas que miran desde la Tierra, la estrella parecerá estar en un lugar distinto del que parecería ocupar si su luz viajase en línea recta. Entonces, si se mide la posición de la estrella durante un eclipse de Sol y se compara con otros registros tomados cuando la estrella se encuentra en otros lugares del cielo, se puede comprobar si los resultados concuerdan con las predicciones de Einstein o con las de Newton. Pero lo que parece una prueba fundamental para distinguir entre dos teorías en competencia era, en la práctica, mucho más complicada. Lo más irritante es que no había ninguna estrella adecuada cerca del Sol durante el período del eclipse, lo cual aumentaba aún más las exigencias de precisión, de modo que los observadores se enfrentaban a una tarea similar a la de medir una pequeña moneda a un kilómetro de distancia. Y, para redondear las numerosas dificultades técnicas, las nubes cubrían el cielo durante el día del eclipse.

Cuando los resultados demostraron no ser concluyentes, Eddington se puso a ajustar los datos, descartando sumariamente las fotografías que no confirmaban sus ideas preconcebidas y eliminando las pruebas contradictorias reunidas por otros equipos que habían investigado también el eclipse. Muchos científicos estaban ya convencidos de las ideas de Einstein, y Eddington recurrió a sus influyentes contactos para convencerlos de que su expedición demostraba la verdad que ellos querían oír. Sin embargo, algunos expertos mantuvieron su escepticismo, y pasaron dos décadas antes de que los astrónomos norteamericanos se convencieran. A Einstein le gustaba imaginarse como sucesor de Newton en el panteón de los grandes genios, como si una especie de poder divino inmaterial pudiera transmitirse de un intelecto extraordinario a otro. Aun así, las raíces de su abstrusa teoría se hallaban en los problemas prácticos de coordinación de relojes surgidos durante la búsqueda de la precisión en el siglo XIX. A los iconos científicos se los idolatra como seres de otro mundo que flotan por encima de las realidades de la vida cotidiana. Einstein ilustra cómo incluso los pensadores más aparentemente abstractos no se ajustan a esas idealizadas visiones.



Invisibles

Durante los siglos XIX y XX, los científicos desarrollaron instrumentos cada vez más precisos, aunque continuamente recurrían a entidades indetectables para explicar los fenómenos naturales. Parecía que, por muy detalladas que fuesen sus investigaciones, las causas últimas siempre los eludían. Aunque algunos confiados físicos predijeron que la búsqueda de las leyes de la naturaleza ya estaba prácticamente resuelta, su complacencia se vio demolida por la radiactividad, que revelaba un insospechado e inexplorado microuniverso cuyo comportamiento solo podía explicarse mediante las leyes, contrarias a la intuición, de la mecánica cuántica. La incertidumbre hizo acto de presencia como parte esencial del Universo, lo que impedía, tanto de forma teórica como práctica, que los científicos atómicos lo supieran todo sobre todo. En sucesivas e infructuosas búsquedas de los cimientos materiales de la vida, los biólogos también intentaban hacer visible lo invisible, apoyándose en potentes herramientas ópticas y químicas para sondear el interior de las células y revelar los agentes ocultos que afectan a la existencia humana. Iniciados en nombre del progreso, algunos programas de investigación que afirmaban hacer avanzar la ciencia y mejorar la humanidad iban lastrados con implicaciones políticas y comerciales que suscitaban profundas dudas éticas.

1 - Vida

La propaganda es un arma blanda: si la sostienes demasiado tiempo en la mano, se moverá como una serpiente y atacará en la otra dirección.

Jean Anouilh, *The Lark* (1953)

«Era una siniestra noche del mes de noviembre», recordaba Victor Frankenstein. «Coloqué al alcance de mi mano el instrumental que iba a permitirme encender el brillo de la vida en la forma inerte que yacía a mis pies… Observé cómo la criatura entreabría sus ojos ambarinos y desvaídos. Respiró profundamente y sus miembros se movieron convulsivamente»[90]. Frankenstein se ha convertido en una semimitológica criatura de pesadilla, un monstruo científico que a menudo se confunde con el ser inocente al que dio vida mediante la electricidad. Sin embargo, los lectores no estaban alarmados porque sus hazañas fuesen imposibles, sino porque sus actividades se hallaban precisamente en el límite de lo factible.

La propia creadora de Frankenstein, Mary Shelley, se había sumergido en las últimas investigaciones científicas. Puede que su libro sea ficticio, pero ofrece una crónica certera de la escena científica de 1818, cuando *Frankenstein* se publicó. En aquella época, la resurrección de los muertos parecía una posibilidad real. Se había logrado revivir a personas ahogadas, y los anatomistas efectuaban experimentos públicos con criminales recién ahorcados, aplicándolos tremendas corrientes eléctricas hasta que sus miembros se convulsionaban, sus espaldas se arqueaban y sus ojos se abrían con lascivia. Las investigaciones prosiguieron y, al cabo de veinte años, los investigadores comentaban rumores que circulaban acerca de un geólogo que había logrado crear insectos electrificando una roca.

La biología se estaba convirtiendo en una nueva ciencia (su primera aparición fue en una recóndita nota a pie de página en alemán en 1800), y sus pioneros pretendían dar respuesta a la pregunta más difícil de todas: ¿cuál es la naturaleza de la vida? En Gran Bretaña, las opiniones estaban divididas. Según el punto de vista tradicional, la vida surge cuando Dios infunde un

alma o espíritu. En el extremo opuesto se hallaban los materialistas, reduccionistas científicos que sostenían que la vida se halla en la materia misma, que surge de algún modo de una organización de las unidades fundamentales. Sus ideas parecían aún más amenazadoras porque se originaban en Francia, un país al que los chovinistas tenían por una fuente de revolución y ateísmo. Las discusiones eran mordaces. Con el ánimo de actuar de mediador, un célebre médico de Londres efectuó la diplomática propuesta de que la vida se transmite a las sustancias inertes mediante una especie de fuerza vitalizadora, quizá algún tipo de fluido sutil análogo a la electricidad. Shelley tenía en mente estos debates cuando retrató a Frankenstein como experimentador fallido, un místico alquimista cuyos intentos de generar vida eléctricamente resultaron en desastre.

Shelley conocía la polémica opinión del médico de su marido, William Lawrence, que se burlaba sin piedad de cualquier relación de la vida con la electricidad. Lo único que sabemos de la vida, según declaraba, es que pasa de una generación a la siguiente; sus secretos, pues, se hallan obviamente en el mismo tejido de los cuerpos. Los nuevos biólogos prefirieron aliarse con los físicos y los químicos y no con los naturalistas, y anunciaron que, en lugar de limitarse a coleccionar y clasificar organismos vivos, iban a utilizar meticulosos experimentos para investigar la propia vida. Este tipo de investigación de laboratorio se expandió rápidamente a partir de la década de 1830, con la introducción de microscopios de gran calidad. Aunque el microscopio se había inventado hacía dos siglos, las imágenes obtenidas con él eran demasiado borrosas para poder realizar observaciones de precisión. Tras la modificación del diseño de los componentes ópticos, los biólogos fueron capaces de identificar diminutos microorganismos y observar en profundidad las células de organismos vivos.

Sin embargo, a pesar de la potencia de sus instrumentos, los biólogos no se ponían de acuerdo, y los debates acerca de la vida prosiguieron durante todo el siglo XIX con la misma virulencia. Lo que estaba en juego iba más allá de los simples hechos. Para los cristianos devotos, la sola sugerencia de que el regalo de la vida no era exclusivo de Dios representaba un sacrilegio, y esta fue una de las razones por las que Frankenstein fue recibido con terror. Esta oposición religiosa al materialismo se hizo más directa desde el momento en que se empezó a tomar en serio la posibilidad de la evolución. Aunque las teorías (incluida la de Darwin) evitaban abordar la cuestión del inicio de la vida, parecía asumirse que la generación espontánea (la creación

independiente de vida a partir de materia) había ocurrido al menos una vez en el pasado remoto. A muchas personas les resultaba difícil asumir esta idea.

La religión y la ciencia no siempre estaban en desacuerdo. Por toda Europa, los frentes de batalla y las alianzas se establecían en función de las lealtades políticas locales. En Francia, la Iglesia había unido fuerzas con el emperador (el sobrino de Napoleón) para mantener un régimen autoritario, y el principal crítico de la generación espontánea, Louis Pasteur, era un católico convencido y comprometido con la defensa del papel de Dios en la creación. Las controversias nacionales se incrementaron aún más con la traducción al francés del *Origen de las especies* de Darwin, que incorporaba un provocativo prólogo en el que se demonizaba al catolicismo como una religión dañina impuesta por un clero corrupto. Los buenos patriotas debían rechazar la generación espontánea, algo que Pasteur volvió en su provecho durante sus maniobras para convertirse en el científico más famoso de Francia.

Pasteur, que era un experto en la fabricación de vino y cerveza, decidió en la década de 1860 convertirse en un héroe nacional por el procedimiento de dar respuesta a la cuestión científica más candente del momento: ¿puede surgir la vida de animales y plantas muertos? Su principal rival fue Félix-Archiméde Pouchet, ya por entonces un célebre naturalista, que había desarrollado un elegante aparato que, según parecía, producía microorganismos. La técnica básica de Pouchet consistía en hervir heno con agua para crear una infusión estéril, que aislaba del aire mediante un recipiente con mercurio, y esperar a que apareciesen diminutas señales de vida.

Pasteur no inició su investigación con neutralidad ideológica, sino con ideas preconcebidas. Su jactanciosa frase «la suerte solo sonríe a las mentes preparadas» se ha convertido en una de las máximas más famosas de la ciencia, porque enfocar la naturaleza con una *tabula rasa* mental no suele ser muy productivo; a menudo, el éxito depende de reconocer la importancia de algún efecto minúsculo al que anteriormente no se había hecho caso. En una interpretación algo menos caritativa, se puede decir que el objetivo de Pasteur no era averiguar la verdad, sino hallar las pruebas que demostrasen que él tenía razón. Pasteur era una persona ambiciosa e intolerante, conocida por su afición a apropiarse de los resultados de sus ayudantes, y sus cuadernos de notas revelan que, cuando se enfrentó con Pouchet, ya estaba convencido de las respuestas que iba a obtener.

Silenciando algunos fracasos tempranos, Pasteur acabó desarrollando un método para poner a prueba la generación espontánea mediante un

experimento crucial, en sus propias palabras. Utilizando frascos de cuello largo y retorcido con el objetivo de proteger el contenido de cualquier polución atmosférica, Pasteur comparó lo que sucedía con dos tipos de agua con levadura azucarada: una hervida y la otra sin hervir. En sus experimentos, solo las muestras sin hervir se pusieron mohosas; en las soluciones estériles no apareció, organismo vivo alguno. Según Pasteur, se trataba de una prueba demoledora y concluyente contra la generación espontánea. A pesar de que Pouchet y sus aliados pusieron numerosas objeciones, Pasteur se las arregló para evitarlas todas; por ejemplo, evitó varias situaciones incómodas asumiendo el riesgo de acusar a Pouchet de utilizar mercurio contaminado. Pasteur realizó experimentos notables (incluso ascendió con sus frascos a la cima de un glaciar de montaña en busca de aire puro), pero también ocultó las pruebas que lo contradecían e ignoró las conclusiones de sus rivales siempre que le convino; para él eran sus propias convicciones, no los datos, los que le justificaban. Incluso afirmó, contra la lógica, haber demostrado un enunciado negativo: que la generación espontánea no puede suceder nunca en ningún lugar.

Pasteur se convirtió en un héroe, su hipótesis inicial se convirtió en un hecho establecido y Pouchet cayó en el olvido. Los dos científicos habían quedado atrapados en un dilema experimental, pues utilizaban procedimientos similares para obtener resultados opuestos. ¿Cómo era posible saber quién de los dos tenía razón? Este es un problema habitual de la investigación, similar el dilema eléctrico de resolver las lecturas incompatibles obtenidas por distintos tipos de instrumentos. Como sucedió con los británicos y el sistema telegráfico, tales discrepancias pueden derivar en que el equipo más fuerte dicta cuál es la verdad. Unos años más tarde se vio que los resultados de Pouchet eran, de hecho, válidos, porque algunos de los microorganismos del heno son capaces de soportar la ebullición; todos habían asumido que sus infusiones eran estériles. Si Pasteur hubiese seguido un protocolo científico estricto, no habría podido acabar de forma tan eficaz con la generación espontánea.

La ciencia y la religión no siempre se aliaban en las controversias acerca de la vida. Después de que Otto von Bismarck se convirtiese en canciller en 1871, la recién unificada Alemania se convirtió en la nación más importante de Europa en ciencia, y muchos científicos apoyaron la campaña gubernamental contra la Iglesia Católica. Ernst Haeckel, el más notable defensor de Darwin en Alemania, denunció la religión como si estuviese escribiendo un manifiesto político en lugar de un texto científico. En la guerra

santa contra «la servidumbre y la falsedad intelectuales», proclamó con extravagancia, «la embriología es la *artillería pesada en la batalla por la verdad*»[91]. La embriología era una ciencia importante en Alemania, y Haeckel tenía la esperanza de que, al comparar el desarrollo de distintos animales podía descubrir las fuerzas misteriosas que convierten unas cuantas minúsculas células en una criatura viva independiente.

La ciencia no solo precisa de teorías, sino también de instrumentos. Sin los espectaculares avances en la tecnología del microscopio, Pasteur nunca habría podido examinar con tanto detalle los diminutos organismos que causan las enfermedades y la fermentación, y la embriología nunca habría sido tan importante en Alemania. Mientras que los fabricantes ingleses se concentraban en producir costosos instrumentos para los naturalistas, los alemanes estaban produciendo excelentes microscopios de bajo precio que incluso un estudiante se podía permitir. Mediante el uso de estos instrumentos para comparar las estructuras internas de plantas y animales, los científicos alemanes decidieron que las células debían ser los bloques de construcción fundamentales de la vida, a pesar de su tremenda variabilidad.

La teoría celular dominó la investigación en Alemania durante la segunda mitad del siglo XIX. Tras varias décadas de investigación sistemática, en las que varias teorías provisionales tuvieron que ser sacrificadas, los biólogos llegaron a una descripción general que aún hoy sigue vigente: todas las células tienen un núcleo, que contiene cromosomas, suspendido en una sustancia gelatinosa: el citoplasma. Sin embargo, a pesar de que era posible ver estos componentes a través del microscopio, se desconocían sus funciones. Y aunque los animales se desarrollaban a partir de óvulos y espermatozoides para convertirse en embriones bien formados, los procesos implicados eran un misterio. Los científicos se hallaban aún muy lejos de descubrir los secretos de la vida.

Cuando Haeckel investigaba los embriones, tuvo la ventaja de pertenecer a esta comunidad de investigadores de la célula y expertos en microscopía. También heredó el espíritu específicamente alemán según el cual una especie de fuerza de guía otorga una dirección a la vida. Los *Naturphilosophen* habían imaginado que el desarrollo tenía lugar en distintas etapas hacia objetivos decididos *a priori*, de forma que la mente emerge de la materia según una especie de proceso preordenado que nunca especificaron de forma clara. Para los *Naturphilosophen*, las mismas leyes fundamentales del progreso gobiernan el micromundo y el macromundo. Para ilustrar este paralelismo se fijaron en los embriones, que parecen crecer según directrices

predeterminadas hasta que alcanzan su forma definitiva, casi como si estuviesen recapitulando toda la ascendencia de la especie dentro del vientre materno.

Estas visiones idealistas se contradecían totalmente con las teorías materialistas de la evolución. En su forma original, la selección natural no implicaba necesariamente progreso alguno, aunque algunos de los más acérrimos partidarios de Darwin en Gran Bretaña —incluido Huxley, célebre por ser su defensor incondicional— afirmaban más tarde que debía haber una dirección preestablecida de organismos inferiores a organismos superiores. Haeckel actuó de forma parecida al combinar la selección natural y el progreso innato, de manera que se hizo famoso con el apelativo de «el Darwin alemán», a pesar de expresar puntos de vista distintos a los de Darwin. Haeckel, un experto publicista, formalizó su propia variante de la evolución al idear una memorable frase de resumen: «la ontogenia es la recapitulación breve y rápida de la filogenia». Este sucinto eslogan es una forma ingeniosa de decir que el desarrollo de un individuo (ontogenia) representa la recapitulación de las fases progresivas recorridas durante la evolución de su especie (filogenia), de forma que los embriones de las especies más recientes pasan por la forma de las especies más antiguas.

Como se ilustra en la Figura 41**[f41]**, la meta de Haeckel era eliminar el lenguaje grandilocuente haciendo que la recapitulación de la que hablaba fuese algo perfectamente obvio. En las ocho columnas del diagrama se compara el aspecto de ocho animales en tres momentos anteriores a su nacimiento variando en complejidad desde un pez, en el lado izquierdo, a un ser humano, en el derecho. En la fila superior, los jóvenes embriones se parecen mucho entre sí, mientras que los más desarrollados de la fila inferior han divergido. Haeckel utilizó estas tablas visuales para ilustrar que los vertebrados comparten un patrón de desarrollo común, y también para explicar de qué modo los embriones recorren sucesivamente formas situadas en escalones inferiores del árbol evolutivo. Por ejemplo, el feto humano aún no desarrollado de la esquina superior derecha tiene algo parecido a agallas y aletas que se corresponden con la forma más madura de su antepasado pez de la esquina inferior izquierda.

Los expresivos diagramas, la prosa colorista y la retórica antirreligiosa de Haeckel granjearon a su versión de la recapitulación una enorme influencia en toda Europa y más allá. Incluso a mediados del siglo XX, mucho tiempo después de que la teoría de la recapitulación hubiese sido desacreditada, los asombrosos dibujos de Haeckel seguían reproduciéndose para apoyar los

argumentos darwinianos de que, por distintos que sean los animales entre sí, comparten un antepasado común. Las imágenes de Haeckel tienen un aspecto convincente, pero ¿es correcta la historia que narran? Como Pasteur, Haeckel creía que la ciencia precisa de la persuasión tanto como de la investigación, y su intención era presentar las pruebas de la forma más convincente. Sus críticos denunciaron como fraudulentas algunas tácticas que él consideraba admisibles, como simplificar los originales y recalcar rasgos específicos. El ala derecha del cristianismo sacó posteriormente partido de estas acusaciones para apoyar sus propias posturas políticas.

Haeckel no se dedicó a falsificar los datos, pero sí los manipuló para destacar las similitudes que él creía que existían. Sus rivales, que tenían otras ideas preconcebidas, examinaron también los embriones y, lo que no es sorprendente, llegaron a teorías distintas. Como su intención era socavar la hipótesis de la recapitulación, quitaron importancia a las semejanzas y, en cambio, destacaron los rasgos distintivos. Para hacer hincapié en la influencia del entorno más allá de la ascendencia, algunos científicos empezaron a intervenir en el desarrollo embrionario para aislar las causas físicas y químicas de determinados cambios. Poco a poco, la atractiva teoría de la recapitulación de Haeckel perdió prestigio, aunque se le siguió considerando el pionero de la evolución en Alemania.

Haeckel no era un corrupto, sino una persona desafortunada. Muchos científicos antes que él habían perseguido sus convicciones con la misma determinación, incluido Pasteur, que no siguió las reglas estrictas del procedimiento científico, pero al que se sigue considerando un héroe porque su rechazo de la generación espontánea se confirmó posteriormente. Por desgracia para él, Haeckel apoyó una hipótesis que los científicos actuales califican de falsa. La evolución sigue generando polémica, y los modernos creacionistas arremeten con acusaciones de fraude al estilo de Haeckel para atacar todo el edificio de la ciencia darwiniana. Al individualizar este ejemplo específico para dar fuerza a sus argumentos, actúan de forma similar a Haeckel: utilizan la exageración de forma interesada, pero con intenciones genuinas.

2 - Gérmenes

> Pero quisiéramos saber más de lo que vemos, y ahí está la dificultad: porque si pudiéramos ver, sabríamos, pero vemos casi todos los objetos de forma distinta a como realmente son; así, los verdaderos filósofos consumen su tiempo en no creer lo que ven y en conjeturar el verdadero conocimiento de lo que no ven.
>
> Bernard de la Fontenelle, *A Discovery of New Worlds* (1686)

Víctor Frankenstein intentó crear vida, mientras que la meta menos ambiciosa de los médicos es la de prolongarla. Sin embargo, la medicina del siglo XVIII no era demasiado eficaz. Ni siquiera los médicos con la mejor formación podían ir mucho más allá de confortar a sus pacientes a la hora de su muerte, y los altos honorarios y los remedios de dudosa eficacia colocaban a algunos de ellos peligrosamente cerca de los curanderos sin escrúpulos; cuando Mary Wortley Montagu trajo de Turquía una inoculación contra la viruela, se las vio y se las deseó para encontrar un médico «suficientemente virtuoso para renunciar a esa considerable parte de sus ingresos por el bien de la humanidad»[92].

Los médicos dictaban diagnósticos personalizados a sus pacientes, e intentaban curarlos equilibrando sus humores y teniendo en cuenta su constitución propia. Esa era, al menos, la costumbre para los pacientes ricos; los pobres solían simplemente morirse o consultar con un boticario o una curandera de pueblo. Tras la Revolución Francesa, la medicina se hizo más igualitaria y se establecieron hospitales para el cuidado de gran número de enfermos. Los pacientes con síntomas similares se agrupaban en salas, y los médicos empezaron a reconocer y tratar las enfermedades en sí, en lugar de contemplar los síntomas como algo inseparable de los individuos.

Los hospitales eran lugares peligrosos; un célebre cirujano de la época victoriana comentaba que un paciente que «yace sobre una mesa de operaciones… tiene más posibilidades de morir que un soldado inglés en el campo de batalla de Waterloo»[93]. Los enfermos con una fortuna suficiente preferían contratar a un médico de familia que les dispensase cuidados

individuales en la tranquilidad del propio hogar del paciente. Aunque en los laboratorios se estaban desarrollando nuevos medicamentos, los médicos eran renuentes a dejar que la medicina basada en la ciencia minase su propia autoridad. Para reforzar su posición de expertos con una mirada omnisciente, introdujeron nuevas técnicas de diagnóstico basadas en el examen físico detallado y en la medición precisa.

Las enfermedades infecciosas como la viruela acababan de forma regular con la vida de un gran número de personas, pero nadie tenía demasiado claro cómo se propagaban. Muchas personas creían que las epidemias eran causadas por miasmas venenosas, atmósferas de materia tóxica invisibles pero capaces de penetrar en cualquier lugar. A diferencia de los gérmenes, que causan enfermedades específicas, se decía que estas miasmas afectaban de forma diferente a cada víctima, transmitiéndole la gripe, el cólera u otras dolencias en función de su constitución y de su estado de salud. Cuando Charles Dickens y otros activistas de clase media protestaba contra los superpoblados barrios bajos, también estaban interesados en proteger su propia salud liberando a las ciudades de las virulentas nubes miasmáticas.

Mirando desde nuestros días hacia el siglo XIX, los historiadores pueden narrar el pasado como una continua sucesión de éxitos. Los médicos introdujeron las vacunas para prevenir contra enfermedades letales, los microbiólogos aislaron los gérmenes individuales causantes de enfermedades específicas, los cirujanos redujeron drásticamente las infecciones hospitalarias mediante antisépticos y los químicos de laboratorio empezaron a producir poderosos fármacos. Las tasas de mortalidad descendieron de forma radical (al menos en Europa y Norteamérica) y los médicos podían por fin ofrecer a los pacientes esperanzas de curación reales. Por otro lado, no todos los proyectos de investigación dieron sus frutos, y la causa de muchas enfermedades mortales (malaria, gripe, beriberi) siguió sin identificarse. El progreso que ahora vemos con tanta claridad quedó en aquel momento camuflado por la confusión.

Consideremos, por ejemplo, la viruela. Los médicos adoptaron la inoculación turca recomendada por Montagu, pero se trataba de un procedimiento doloroso y no exento de riesgos que acabó con la vida de muchos niños sanos. En la década de 1790, el médico rural Edward Jenner decidió, en una muestra de sensatez, prestar atención a los granjeros y lecheras locales que afirmaban que, cuando una persona se había recuperado de la viruela vacuna, raramente sucumbía a la viruela. Aunque Jenner es uno de los grandes héroes de la medicina, en la actualidad sus procedimientos de

prueba estarían prohibidos. Después de seleccionar a un niño de ocho años, Jenner le inyectó primero viruela vacuna y luego trató de infectarlo con la viruela. Por suerte para ambos, su voluntario-víctima sobrevivió y Jenner fue recompensado por el gobierno con la suma de 30 000 libras esterlinas por haber inventado la vacuna contra la viruela.

Como muchas otras innovaciones, en retrospectiva la introducción de la vacunación parece de una importancia capital, pero en su momento fue muy disputada. Entre las denuncias que se publicaron se hallaba una colorista pero bien documentada caricatura dibujada por James Gillray en la que se satirizaba una de las clínicas gratuitas instaladas en Londres (Figura 42**[f42]**). Vestido con un traje formal (probablemente sucio), Jenner está blandiendo las cuchillas de su instrumento de vacunación, ayudado por un niño de un hospicio que sostiene un cubo de «VIRUELA VACUNA de la VACA» y un ayudante que distribuye a cucharones «MIXTURA DE APERTURA». Esta onírica escena representaba unos temores muy reales. Una mujer en el lado derecho está simultáneamente vomitando y dando a luz vacas, mientras que a varios pacientes les han brotado excrecencias de aspecto bovino, una referencia al célebre caso del llamado niño con cara de buey, cuyos ganglios se hincharon de forma espectacular después de la vacunación. Las protestas contra la vacunación se prolongaron durante todo el siglo XIX, mucho tiempo después de que se hubiese demostrado su eficacia.

Los médicos y los pacientes hacían bien en mantener una cierta prudencia. Los procedimientos eran dolorosos, solían dejar huellas físicas visibles y se administraban en tales condiciones de falta de higiene que las infecciones se propagaban con rapidez. A falta de una justificación teórica sólida, las explicaciones de Jenner acerca de los resultados anómalos carecían de consistencia y, como simple cirujano, se le solía asociar con los carniceros y los ladrones de tumbas. Por encima de todo, parecía un sacrilegio contaminar un cuerpo humano con materia salida del estómago de un animal enfermo situado en un nivel inferior en la escala de la vida. Aunque la vacunación parecía realmente funcionar, muchos activistas —incluida Florence Nightingale— protestaban ante lo que calificaban de una interferencia del estado en las vidas de las personas al hacer obligatoria la vacunación. Debido a esta oposición al control del gobierno, los brotes epidémicos de viruela siguieron apareciendo en Gran Bretaña, incluso durante el siglo XX.

El comercio internacional y los viajes dispersaban las enfermedades por todo el mundo. La viruela diezmó a las poblaciones indígenas de América, que carecían de resistencia contra esta dolencia europea; asímismo, los

exploradores británicos y franceses exportaron las enfermedades de transmisión sexual a las islas del Pacífico que calificaban de paraísos en la Tierra. A principios del siglo XIX, los gérmenes viajaron en la dirección opuesta. Cuando el cólera se empezó a propagar fuera de Asia y por toda Europa, los médicos se sumieron en el pánico al darse cuenta de que no tenían ni la menor idea de los mecanismos involucrados en su expansión. Llegó en primer lugar a Gran Bretaña en 1831, generando una sensación de fatalidad y desamparo similar a la de los primeros años del sida. Los ya abarrotados hospitales quedaron inundados de pacientes que, inevitablemente, morían en agonía al cabo de pocas horas. Aunque la epidemia remitió, otras llegaron después, y los reacios departamentos del gobierno tuvieron que ponerse en acción.

El gobierno intentó tímidamente llevar a cabo una mejora de las condiciones de vida básicas, aunque muchos ciudadanos se sintieron molestos por esta intromisión del estado. A los victorianos se les daba muy bien el registro de cifras y de eventos; así, mediante el análisis estadístico, los médicos terminaron por averiguar el mecanismo de transmisión del cólera. El héroe convencional de esta historia se llama John Snow, un cirujano londinense que, se supone, resolvió el problema él solo por pura deducción lógica. En realidad pasó años documentándose sobre investigaciones anteriores y llegó a la conclusión, antes incluso de finalizar sus propias investigaciones, que el cólera se transportaba mediante microbios a través del agua. Armado con sus preconcebidas convicciones, Snow se propuso demostrar que tenía razón. Mediante el procedimiento de elaborar un mapa sistemático de todos los casos de cólera de su barrio, Snow afirmó que una determinada bomba de agua era el origen de la infección. En las versiones dramatizadas de este mito, se afirma incluso que se llevó personalmente la palanca de la bomba para detener el brote, aunque en realidad fue un comité el que la eliminó cuando el peligro ya había pasado.

Como ocurrió con Pasteur, la figura de Snow fue posteriormente reivindicada, aunque sus pruebas no eran precisamente a prueba de dudas. Como señalaron sus opositores, los datos de Snow podrían haberse explicado también asumiendo que el cólera se transmitía por el aire desde un montón de suciedad situado junto a la bomba. Y además, agregaban, aunque el cólera viaje por el agua, no tenía datos para declarar que ninguna enfermedad es causada por miasmas. En un segundo estudio, Snow mostró que las tasas de infección en una casa dependían, de la compañía que suministraba el agua. Este resultado ofreció argumentos poderosos a los que insistían en la

necesidad de limpiar Londres, pero los expertos médicos siguieron sin quedar convencidos; aunque el cólera aparecía con frecuencia en los órdenes del día de los comités de salubridad internacionales, las investigaciones de Snow ni siquiera se comentaban. Snow no era en absoluto un genio solitario, sino una de las muchas personas de talento que contribuyeron al proyecto colectivo de salvar vidas y reducir el número de muertes.

Snow tuvo suerte: apoyó la teoría de la transmisión del cólera por el agua, que es la teoría que ha sobrevivido hasta nuestros días. Otros héroes de la medicina se las ingeniaron para establecer su reputación póstuma sobre teorías que más tarde se abandonaron. Uno de los principales ejemplos es el del cirujano Joseph Lister, famoso en la actualidad por sus campañas para la eliminación de gérmenes en los hospitales. Lister era apuesto y carismático y se presentaba a sí mismo como un cirujano salvador cuyo equipo de asistentes de bata blanca rociaban ritualmente el quirófano con fenol como si balanceasen incensarios en una iglesia. Los escépticos se mofaban: «Y ahora vamos a rezar».

Lister era un hábil cirujano que contribuyó en gran medida a la mejora de las condiciones quirúrgicas. Por otra parte, se apropiaba de las técnicas de sus rivales, se aferraba a ideas pasadas de moda y se dedicó a reescribir toda su carrera para aparecer como el principal defensor de la teoría de los gérmenes moderna. En primer lugar, no fue en absoluto el primero en hacer hincapié en la importancia de la higiene. Con tasas de muerte postoperatoria cercanas en algunos casos al 65 por 100, los reformistas de la salud pública ya tomaban medidas como pintar las paredes con cal, separar a los pacientes o mejorar la ventilación. Aunque estas prácticas estaban destinadas a combatir las miasmas, eran eficaces, e incluían el uso del fenol. Así, los cirujanos no hacían demasiado caso cuando Lister insistía en que la inmersión de los instrumentos y la limpieza de las heridas abiertas con fenol reduciría la mortalidad, sobre todo porque él seguía llevando ropas empapadas de sangre, no se lavaba las manos y no le preocupaban las sábanas sucias de sus pacientes (por no hablar del dolor causado por la aplicación del fenol sobre la carne). Cuando más adelante Lister repasó su carrera, modificó astutamente sus opiniones para adecuarlas al pensamiento actual. Al principio consideraba que los gérmenes eran fuentes de infección genéricas, pero en la década de 1880 sustituyó estos gérmenes multiuso por otros específicos, cambiando su posición teórica tan hábilmente que sus admiradores le siguen considerando un pionero de la teoría de gérmenes moderna.

El gran héroe de la teoría de gérmenes es Robert Koch, el bacteriólogo alemán que saltó a la fama después de identificar el organismo responsable de más muertes en la Europa industrial: la tuberculosis (que se solía llamar también consunción o tisis). El éxito de Koch se debió al desarrollo de nuevos métodos y a su habilidad para publicitar sus descubrimientos. Con su invento de las cápsulas de Petri (cuyo nombre tomó de uno de sus ayudantes), Koch creó buenos cultivos en entornos meticulosamente controlados y desarrolló técnicas para fotografiar imágenes microscópicas. Estas innovaciones le permitían comparar sus procedimientos cuantitativamente y comunicar sus resultados con eficacia. Con la definición de un conjunto claro de procedimientos experimentales (denominados *postulados de Koch*), Koch estableció la correlación causa-efecto con una certeza del 100 por 100, demostrando más allá de toda duda que bacterias específicas causan enfermedades específicas.

Los investigadores de los laboratorios reconocieron que se trataba de un avance fundamental, haciendo hincapié en el hecho de que, a medida que Koch y sus sucesores identificaban cada vez más microorganismos, las tasas de mortalidad por enfermedades infecciosas descendían de forma espectacular. Sin embargo, no todas las personas implicadas en la sanidad pública quedaron convencidas. El descenso de mortalidad se debía también a otras causas menos románticas: la mejora de la alimentación y la salubridad o el incremento de la financiación pública en hospitales y educación sanitaria. Pero estas importantes medidas eran más aburridas, y las personas preferían oír que heroicos médicos luchaban contra las enfermedades enemigas. Según los propagandistas de los gérmenes, el cuerpo no está gobernado por un equilibrio de humores que puede desbaratarse en cualquier momento, sino que es un conjunto de células vulnerable a los ataques de microorganismos invisibles pero letales: en lugar de estar en armonía con el Universo, los seres humanos son entidades independientes que tienen que protegerse contra los intrusos microbianos.

A partir de este concepto de invasión enemiga, la medicina adoptó un vocabulario militar con penetraciones, derrotas y destrucciones. Como otras metáforas científicas, estas imágenes funcionaban en los dos sentidos, no solo reflejando la forma de imaginar las enfermedades, sino también la forma de tratar a los extranjeros. Estas asociaciones se ilustran en la Figura 43**[f43]**, llamada «Avanzando al ataque», que forma parte de una serie llamada «El ejército interior». En los dos dibujos de los recuadros se muestran la batalla interna revelada por el microscopio, en la que los corpúsculos blancos

atraviesan las paredes de una vena para atacar las bacterias ajenas que se encuentran entre las planas células rojas de la sangre. Para hacer más claro el mensaje, el dibujo muestra a unos soldados británicos blancos cruzando un río hostil para capturar un territorio interior de África o de Asia. En lo alto de la colina, unos amenazantes demonios negros evocan recuerdos de africanos de las colonias que amenazan a los exploradores europeos.

Igual que los cuerpos debían protegerse contra los microbios intrusos, también las naciones ricas debían defenderse contra los infecciosos inmigrantes. A menudo se culpaba de las enfermedades a los extranjeros, pero la teoría de gérmenes proporcionó nuevos argumentos para dar una explicación racional a los viejos temores. Ahora se podía asignar a los prejuicios de raza y de limpieza una etiqueta científica. Cuando un residente chino de San Francisco murió por la peste se impuso una cuarentena en todo Chinatown, una medida discriminatoria justificada como precaución médica. Estados Unidos atraía a millones de colonos; a principios del siglo XX, el gobierno estableció un programa de revisiones para evaluar su estado de salud. Aunque se anunció como una medida de seguridad médica, en realidad los irregulares procedimientos de veto se traducían en que los europeos ricos podían entrar más fácilmente que otros solicitantes.

Los investigadores europeos invadieron también los países asiáticos, tratando de erradicar las masivas epidemias que amenazaban los beneficios del comercio. A finales del siglo XIX, la India se convirtió de hecho en un inmenso laboratorio, con la llegada de Koch y otros expertos para estudiar en detalle la transmisión bacteriana de la peste y los tratamientos más eficaces. Los hindúes se sintieron muy molestos con esta intrusión, que venía a indicar que se les consideraba incapaces de cuidar de sí mismos. Las despiadadas regulaciones higiénicas de los europeos transgredían a menudo las costumbres locales, mezclando miembros de distintas castas en los mismos hospitales, impidiendo a los musulmanes peregrinar a La Meca o sometiendo a las mujeres a exámenes físicos por parte de médicos hombres. El control de las enfermedades se tradujo en la restricción de las libertades individuales, la misma objeción que esgrimían los activistas antivacunación.

A pesar de los avances médicos que reivindicaban, los científicos no lograron una victoria total sobre el enemigo de la enfermedad. Con frecuencia, lo que parecía fácil y directo en el laboratorio se revelaba como algo complicado fuera de él, y esas discrepancias daban argumentos a los críticos de la teoría de los gérmenes. A pesar de que Koch había demostrado que nadie se contagia de tuberculosis por exposición al bacilo, no pudo

explicar por qué solo el 10 por 100 de las personas se infectaban; y, lo que es peor, la tasa de curación era inferior a la que él esperaba. Los estadísticos de la época victoriana se pusieron a recopilar datos; pero, aunque la enfermedad aparecía de forma predominante en las zonas industriales pobres, no fueron capaces de hallar una relación de causalidad simple. El agente enemigo había sido identificado, pero parecía dejar indemnes a muchas posibles víctimas, lo que sugería que los enfermos, de algún modo, ya estaban previamente contaminados. Los estereotipos variaron: a finales del siglo XVIII, la tisis se percibía como una dolencia romántica que afectaba a los poetas y los artistas de constitución inherentemente delicada; un siglo más tarde, la tuberculosis pasó a identificarse como una enfermedad contagiosa que circulaba en sórdidos barrios bajos de las ciudades, un signo de inferioridad, no de vulnerabilidad estética.

Se aislaba a los pacientes en grandes sanatorios no solo por su propio bien, sino para la protección de la sociedad. Contraer la tuberculosis se convirtió en motivo de vergüenza, como si los pacientes fuesen culpables de ser víctimas de microbios neutrales. La enfermedad, rodeada de temores y misterios, se convirtió en una cuestión tabú: «al hablar de la tuberculosis», comentaba el novelista de Praga Franz Kafka dos meses antes de morir a causa de esa dolencia, «las personas adoptan una postura tímida, evasiva, de frialdad en la mirada»[94]. Este era un estigma común a otras enfermedades infecciosas, en especial la sífilis, de la que se solía culpar a las mujeres. El nombre *sífilis* proviene de un poema en el que se describe cómo la perversa seductora Lujuria atrae a Hércules hacia el pecado, una versión griega del mito de la tentación de Eva a Adán en el Jardín del Edén. En la mitología médica correspondiente eran las prostitutas, no sus clientes hombres, los corruptos orígenes de contaminación.

Estas actitudes emocionales siguen vigentes. Hacia finales del siglo XX, el cáncer se convirtió en la nueva tuberculosis, la enfermedad cuyo nombre no se podía pronunciar, y el sida transmitido a los hombres homosexuales pasó a ser la condenación que antes afectaba a las mujeres prostitutas. En su obra *Fantasmas*, que explora la culpabilidad irracional inducida por la herencia de la sífilis, el dramaturgo noruego Henrík Ibsen escribía: «No es solo lo que hemos heredado de nuestros padres lo que nos persigue. Son todas esas ideas obsoletas… que se adhieren a nosotros y que somos incapaces de sacudirnos»[95]. Los fantasmas del pasado siguen asediándonos el presente, pero quizá podamos exorcizarlos si comprendemos sus orígenes.

3 - Rayos

> Las formas de lenguaje vagas e insignificantes y el abuso del idioma, han pasado a menudo por misterios de la ciencia; y las palabras complejas o mal aplicadas, con poco o ningún significado, han adquirido el derecho a que se les de profundidad y altura especulativa, hasta tal punto de que no es fácil convencer ni a los que las pronuncian ni a los que las escuchan de que no son más que el camuflaje de la ignorancia y un estorbo para el verdadero conocimiento.
>
> John Locke, *Ensayo sobre el entendimiento humano* (1690)

Al fotografiar las bacterias, los biólogos demostraron su existencia. Y, mediante la transmisión de mensajes de radio, los físicos demostraron que el éter era real. ¿O no? Ver no siempre equivalía a creer; y a la inversa: cuando entidades hipotéticas se negaban insistentemente a hacerse visibles, seguían envueltas en duda.

No siempre era fácil distinguir entre verdad, falsedad y autoengaño. Los entusiastas mantenían que sus cámaras no mentían nunca, pero a muchos les costaba aceptar que unas fotografías de rostros borrosos de mujeres con largas vestiduras correspondían a genuinos visitantes del mundo de los espíritus. Por otra parte, si las ondas de radio podían vibrar alrededor del mundo a través de un éter indetectable, quizá la idea de una comunicación supratelegráfica con los muertos no fuese tan singular. Algunos sujetos especialmente sensibles podían detectar auras luminosas llameando alrededor de los cuerpos de las personas, mientras que otros sucumbían de inmediato a las fuerzas mesméricas generadas por magnetizadores animales. Médiums, *séances* y comunicación telepática fueron más tarde denunciados como fraude, pero durante la segunda mitad del siglo XIX los científicos no estaban tan seguros.

En este ambiente de incertidumbre, los efectos extraños se contemplaban con prevención, y algunos fenómenos atómicos no parecían ser más reales que las manifestaciones de espíritus. Cuando el físico británico William Crookes anunció que había descubierto *materia radiante*, sus colegas no quedaron convencidos. Pero Crookes era un experimentador astuto, y desarrolló demostraciones que señalaban de forma evidente que algo extraño sucedía dentro de sus tubos de descarga de cristal. Estos instrumentos,

similares a pequeñas luces de neón, contenían un gas a baja presión y eran muy comunes en los espectáculos eléctricos porque brillaban cuando una corriente pasaba a través suyo. Crookes personalizó de forma ingeniosa uno de esos tubos insertando en él una diminuta rueda de paletas montada sobre una guía. Al conectar la electricidad, la rueda avanzaba hacia un extremo del tubo, impulsada —según Crookes— por partículas de materia radiante que partían de la placa metálica (el cátodo) situada en el otro extremo.

La prueba de Crookes era convincente, y más tarde fue vindicado cuando se demostró la existencia de sus misteriosos rayos catódicos, a pesar de que se les dio un nuevo nombre: electrones. Sin embargo, Crookes también aplicó sus indudables habilidades experimentales para la comprobación del espiritismo, un fenómeno actualmente desacreditado. Como experto en electricidad, Crookes pensaba que poseía las cualificaciones necesarias sobre comunicación a larga distancia; después que varios famosos médiums pasaran sus rigurosas pruebas sin que pudiese demostrar que hacían trampas, muchos victorianos quedaron convencidos de la posibilidad real de ponerse en contacto con los muertos. Los escépticos se burlaban de que un físico crédulo hubiese podido ser embaucado por unos charlatanes (o quizá él mismo fuese uno de ellos), pero Crookes y sus colegas querían ofrecer una explicación material a estos efectos supuestamente espirituales. Insinuaron que quizá la radio tuviese una analogía humana, de forma que las personas con órganos especialmente sensibles podían sintonizar insospechadas vibraciones etéricas.

Crookes acusó a los otros científicos de traidores a su vocación. Al negarse a examinar el espiritismo, atacaba, estaban juzgándolo *a priori*, lo que es «como razonar en círculo: no vamos a investigar nada mientras no sepamos que es posible, mientras que no podemos decir qué es imposible, matemática pura aparte, mientras no lo sepamos todo»[96]. Su defensa aludía a la misma esencia del ser científico. Si se rechaza automáticamente aquello con lo que no se está familiarizado y se rehúsa investigarlo, nunca se descubrirá nada nuevo. Los grandes descubrimientos implican salir de las barreras, eliminar ideas preconcebidas y desafiar los conocimientos previos. Aunque sería improductivo comprobar todos los experimentos anteriores, no es necesariamente excéntrico desafiar el saber aceptado.

Algunos otros fenómenos extraños que tenían lugar en laboratorios científicos parecían al principio tan inexplicables como los golpes en las mesas de las *séances*. En 1896, un profesor alemán desconocido llamado Wilhelm Röntgen sorprendió al mundo con una fotografía de rayos X de los huesos de la mano de su mujer, con su anillo de boda flotando de manera

inquietante alrededor del dedo. Röntgen se había topado accidentalmente con esta misteriosa radiación mientras efectuaba experimentos con tubos de descarga. Otros científicos, incluido Crookes, ya habían notado que las placas fotográficas envueltas en papel negro se velaban, pero Röntgen decidió descubrir qué era lo que sucedía.

Apartándose de la máxima de Pasteur «la suerte solo sonríe a las mentes preparadas», Röntgen intentó evitar cualquier suposición teórica previa. Como él mismo decía, en lugar de pensar, investigó. Al explorar experimentalmente las propiedades de estos nuevos rayos, Röntgen demostró que eran distintos de los rayos catódicos que también se producían en los tubos de descarga. Los rayos X son una radiación neutra y sin peso, como la luz o las ondas de radio, mientras que los rayos catódicos tienen carga eléctrica (negativa) y peso (aunque escaso). Pocos años después, las máquinas de rayos X se habían convertido en un equipo estándar en los hospitales, Röntgen ganó el primer premio Nobel de física y los rayos X entraron en el repertorio de los feriantes:

> Estoy asombrado
> sorprendido y pasmado
> de que en estos tiempos
> digan que se ve a través de ropas y hasta del corsé
> con esos picaros rayos de Roentgen[97].

Solo unos meses más tarde, otro modesto científico efectuó otro descubrimiento trascendental por casualidad: Henri Becquerel, la primera persona en detectar la radiactividad. Aunque obtuvo también uno de los primeros premios Nobel, Becquerel modestamente atribuyó su logro a la tradición de su distinguida familia en la investigación de la fosforescencia. Durante un proyecto para el estudio sistemático de los rayos X, Becquerel examinaba rutinariamente diferentes sustancias fosforescentes cuando decidió ensayar una sal de uranio (que su padre había producido antes). Becquerel tuvo un golpe de suerte por no seguir un protocolo científico estricto: aburrido de esperar, reveló algunas placas fotográficas antes de que pasara el tiempo necesario para que mostrasen alguna cosa.

En lugar de las débiles imágenes que tenía previsto ver, Becquerel se encontró con una serie de nítidas siluetas blancas y negras. Quedó desconcertado; pero, en lugar de pensar que se trataba de un error y tirarlas, siguió investigando. Pronto descubrió que, incluso sin la luz del sol, los cristales de uranio de su padre generaban una imagen fotográfica. Finalmente, tras posteriores experimentos sistemáticos, se dio cuenta de que la

fosforescencia (su punto de partida) era irrelevante. Lo que importaba era el uranio. Pero ¿por qué? ¿Era el uranio un caso único, o este comportamiento extraordinario se extendía también a otras sustancias? La causa y el ámbito del fenómeno siguieron siendo un misterio.

A lo largo de los años posteriores, los perplejos científicos inventaron nuevas palabras —como la propia *radiactividad*— para dar nombre a los inexplicables efectos que seguían apareciendo. Provisionalmente, agregaron tres tipos de rayos a los misteriosos rayos X y les dieron el nombre de las tres primeras letras del alfabeto griego: alfa (α), beta (β) y gamma (γ) (algunos científicos tienen un estrafalario sentido del humor, de ahí el nombre «quark» [del adjetivo inglés «quirky», estrafalario] en la física subatómica moderna; cuando Ralph Alpher escribió un artículo con George Gamow, reclutaron a un tercer autor, Hans Bethe, para que la combinación de sus apellidos sonase como Alfa, Beta, Gamma). La precisión en la denominación no era algo a lo que se prestase mucha atención; finalmente resultó que solo los rayos gamma eran radiación (como la electricidad o los rayos X), mientras que se halló que los otros dos eran flujos de partículas. Los rayos alfa se componen de núcleos de helio con carga positiva (dos protones y dos neutrones), mientras que los rayos beta (también llamados catódicos) son electrones, mucho más ligeros y con carga negativa.

Sí, es complicado. Y, en aquellos momentos, reinaba la confusión. Radiactividad, comunicaciones con espíritus, rayos catódicos… Todos estos curiosos fenómenos no tenían una causa perceptible, y todos ellos parecían haberse unido para sembrar el caos en el Universo estable y gobernado por leyes que los físicos del siglo XIX aspiraban a establecer. A principios del siglo XX era difícil predecir su trascendencia futura. Algunos científicos seguían comprometidos con el espiritismo, y la radiactividad de Becquerel parecía una oscura anomalía sin interés… y por eso una anómala y oscura investigadora de nombre Marie Curie pudo elegirla como tema de investigación. Tuvo que pasar un tiempo para que los científicos reconocieran hasta qué punto había sido decisivo el descubrimiento de Becquerel.

Las grandes cuestiones en electricidad, las que investigaban los físicos que seguían la corriente habitual, eran los rayos catódicos y los rayos X. Los científicos examinaron primero el tubo de descarga de Crookes, modificándolo para poder observar los rayos catódicos más de cerca, aún con dudas sobre cuál podía ser la naturaleza de esa radiación. El más famoso de estos investigadores fue Joseph John Thomson (un nombre que sus colegas no hubiesen reconocido, ya que sus amigos le llamaban J-J, pero las costumbres

de publicación actuales dictan que se incluyan los nombres de pila). Jefe del laboratorio Cavendish de Cambridge, Thomson construyó un tubo de descarga que se comportaba de forma similar a un televisor, utilizando campos eléctricos y magnéticos para desviar los rayos catódicos. Esta capacidad de manipular los rayos demostró que eran distintos de los rayos X, y Thomson declaró que se trataba de chorros de diminutas partículas a las que llamó electrones.

Visto en perspectiva, la identificación de los electrones por parte de Thomson se considera un experimento pionero, pero muchos de sus contemporáneos siguieron sin estar convenció dos por sus pruebas. Los defensores del éter se negaron a cambiar de opinión, y sus argumentos no eran malos. El más obvio era que nadie había visto un electrón (a diferencia de los espíritus revelados por las cámaras). Hasta la medida de la carga del electrón demostró ser una tarea de increíble dificultad, y los valores posibles cubrían un intervalo amplio. Esta falta de precisión permitió a los críticos de Thomson utilizar los mismos resultados para apoyar el punto de vista opuesto: que la electricidad no está compuesta por partículas discretas, sino que es continua, como las ondas que viajan por el éter.

Aunque Thomson era tan torpe que su propio ayudante lo mantenía a distancia del instrumental, sus estudiantes de investigación le adoraban, afirmando que, cuando le pedían ayuda intelectual y no manual, Thomson efectuaba un diagnóstico intuitivo de sus problemas y les sugería soluciones. La palabra «intuitivo» puede sonar a una forma poco realista de enfocar la investigación, pero la intuición y el instinto fueron fundamentales para persuadir a unos instrumentos obstinados y poco sofisticados para que proporcionaran los resultados correctos. Pero ¿qué significa «correctos»? El círculo vicioso vuelve a hacer acto de presencia. Si se están efectuando mediciones de algo nuevo, ¿cómo se puede estar seguro de que los aparatos funcionan correctamente? Los científicos se enfrentan a menudo con el problema de decidir qué hacer con un resultado que contradice las expectativas. Si se lo toman en serio, como hizo Crookes con el espiritismo, corren el riesgo de acabar con su reputación o con sesgar un promedio al incluir un error. Si no le hacen caso, sus resultados parecerán más coherentes; pero los éxitos de Röntgen y de Becquerel se debieron precisamente a negarse a rechazar lo inesperado.

No hay una respuesta «correcta» para este dilema. Aunque los científicos deberían ser imparciales, muchos de los grandes logros de la ciencia surgen de ser selectivo con los datos, incluido el experimento que proporcionó una

medida definitiva de la carga de un electrón. Este experimento fue ideado por Robert Millikan, un físico americano opuesto a la idea del éter, que decidió suspender gotas de aceite cargadas entre dos placas eléctricas. Hallando la fuerza eléctrica necesaria para mantenerlas inmóviles contra el tirón de su propio peso, Millikan calculó la carga de las gotas. Ese era, al menos, el principio. Pero su delicado dispositivo era muy sensible a las perturbaciones, y Millikan, que estaba convencido de la existencia de los electrones, descartó unos dos tercios de las lecturas. Según sus cuadernos de laboratorio, sabía exactamente lo que estaba buscando. «Este valor es casi exacto y el mejor que he logrado hasta ahora», escribía exultante en diciembre de 1911. En abril de 1912, su confianza era aún mayor. «Un 1,5 por 100 demasiado alto», anotó junto a un valor; «Perfecto para publicar» junto a otro[98]. Es tentador denunciar la conducta arbitraria de Millikan; sin embargo, los científicos tienen que sacar provecho de su experiencia, además de utilizar una lógica inexorable. Sensible a las imprecisiones de sus aparatos, Millikan halló un valor para la carga del electrón realmente próximo al valor aceptado en la actualidad.

Convencido *a priori* de la existencia de los electrones, Millikan se apostó su futuro y ganó un premio Nobel. En cambio, un grupo de científicos franceses que actuaron de forma parecida acabaron por hacer el ridículo. Mientras investigaban los rayos X, declararon haber hallado otra misteriosa forma de radiación que emanaba tanto de los organismos vivos como de la materia ordinaria y que —como los espíritus— solo podían ver los observadores extremadamente sensibles. Igual que la luz visible se puede dividir en un espectro, estos *rayos* N (así llamados por la universidad de Nancy, donde se descubrieron) podían supuestamente pasar por un prisma de aluminio y formar un patrón sobre una pantalla especial. Los rayos N no fueron un accidente pasajero: aparecieron en más de cien documentos científicos serios entre 1903 y 1906 y muchos observadores creyeron sinceramente que podían detectar sus efectos. El escepticismo internacional era cada vez mayor, pero la comunidad científica francesa cerró filas en torno a los experimentadores de Nancy, defendiéndolos en especial contra los críticos alemanes.

Finalmente, un astuto visitante norteamericano demostró que se equivocaban; para ello retiró a escondidas el fundamental prisma mientras sus anfitriones seguían, orgullosos con sus lecturas. Ahora parece cosa de risa, pero al principio los rayos N no eran más inverosímiles que la radiactividad. Es fácil criticar a los entusiastas de Nancy, pero ¿acaso obraron con menos

ética que Becquerel, que dejó de lado su planificación para revelar unas cuantas placas antes de tiempo? ¿O que Millikan, que sacrificó la neutralidad y se libró de las lecturas que no le convenían? Cuando estalló el escándalo, Francia se hallaba en plena reorganización de su estructura científica, con la finalidad de resucitar la investigación y recuperar su posición internacional. ¿Es acaso sorprendente, o incluso censurable, que los científicos franceses cerrasen filas contra los extranjeros hostiles y tratasen de establecer Nancy como un centro de investigación de primer orden?

En 1903, dos descubrimientos franceses ocupaban los titulares: los rayos N en Nancy y el radio en París. Parece irónico que el salvador científico del país no surgiese de la élite privilegiada, sino que fuese una persona desconocida y doblemente marginada que se casó con alguien que sí era de esa élite. Se trataba de una mujer polaca de nombre Manya Sklodowska, que más tarde se haría famosa en todo el mundo como Marie Curie. Sin fondos y sin siquiera un doctorado, Curie había decidido proseguir con el trabajo de Becquerel sobre las sales de uranio y averiguar si otras sustancias se comportaban de forma similar. Recabando la asistencia de su esposo Pierre, pasó seis años persiguiendo mínimos rastros de radiactividad y manipulando delicados aparatos con gran habilidad, pero también llevando a cabo el trabajo físico necesario para procesar grandes cantidades de material para sus experimentos.

Finalmente, Curie logró aislar dos nuevos elementos radiactivos: primero el polonio (que tomó el nombre de Polonia) y luego el radio. La radiactividad fue recibida con algo parecido al frenesí. En la Figura 44**[f44]**, tomada de una serie británica llamada «Los hombres [sic] de nuestro tiempo» se muestra a la orgullosa pareja mirando extasiados un cristal de radio brillante como una milagrosa estrella. La propia Curie murió de leucemia a causa de su trabajo, pero el entusiasmo universal del principio no quedó empañado por conocimiento alguno sobre Hiroshima o Chernobyl. Curie, la primera profesora de Francia, estableció un centro de investigación para el estudio del nuevo fenómeno; durante la primera guerra mundial demostró el valor práctico del uso de unidades de rayos X móviles para los soldados heridos.

Curie fue la primera persona en ganar dos premios Nobel, y se ha convertido en un modelo para las chicas con aspiraciones. En esta caricatura se muestra hasta qué punto la mitología se puede ver desde dos puntos de vista. A ella se la presenta aquí como una pequeña figura que mira por detrás del hombro de su marido mientras él observa triunfalmente el tubo de ensayo que irradia su exagerada frente con la gloria de los genios. Aunque Marie

Curie publicó documentos teóricos de forma independiente, es él quien sostiene aquí un libro, mientras que ella —la subordinada auxiliar— se apoya sobre la mesa de laboratorio, y su sencillo vestido indica que ha renunciado a los intereses femeninos habituales. El frugal estilo de vida de la pareja alimentó las idealizadas historias de terror acerca de sus sórdidas condiciones de trabajo; en muchas versiones, Marie aparece como una bestia de carga que, con gran dedicación, filtraba toneladas de sucia pechblenda, en una especie de análogo de laboratorio de las tareas de cocina rutinarias.

El mensaje parece claro: las mujeres científicas están atrapadas en una categoría especial: no son científicas de primera clase ni tampoco mujeres normales. Este prejuicio se mantuvo durante décadas (y aún se mantiene, según muchas mujeres), aunque a principios del siglo XX algunos hombres también sufrían discriminación. Como Curie, antes de adquirir fama mundial, Ernest Rutherford fue despreciado como un intruso. Hijo de un granjero y procedente de una escuela pública de Nueva Zelanda, Rutherford llevaba la ropa incorrecta y hablaba con un acento inapropiado cuando llegó a la Universidad de Cambridge. Aun así, finalmente fue el sucesor de J-J Thomson en la jefatura del laboratorio Cavendish y se convirtió en uno de los pioneros fundamentales de la física nuclear. Rutherford siguió estando orgulloso de sus orígenes neozelandeses y, cuando lo hicieron barón, creó un elaborado escudo de armas en el que aparecían un kiwi, un guerrero maorí y Hermes Trismegisto, el patrón de la alquimia.

Según Rutherford, el acontecimiento más asombroso de su vida tuvo lugar en Manchester, en 1909. En aquella época ya llevaba más de diez años trabajando en radiactividad, y se había hecho célebre por su heterodoxa sugerencia de que algunos átomos eran inestables y emitían rayos y partículas a medida que se desintegraban y se convertían en otros elementos. Cierto día, Rutherford tuvo una corazonada. Durante su trabajo con Hans Geiger (cuyos contadores aún se utilizan) ya se había dado cuenta de que un haz de partículas alfa no viaja en línea recta al atravesar una delgada lámina metálica, sino que se dispersa en varias direcciones. ¿Qué pasará, se preguntó Rutherford, si pongo contadores en ambos lados de la lámina? El resultado, informó «fue casi tan increíble como disparar un proyectil de 15 pulgadas contra una hoja de papel de seda y que rebote y haga impacto en uno mismo»; algunas partículas alfa eran reflejadas hacia atrás por la extremadamente delgada lámina[99].

Dieciséis meses más tarde, Rutherford estaba listo para hacer pública su explicación. Sus experimentos mostraban que los metales no están formados

por átomos empaquetados de forma compacta como si fuesen naranjas en una caja, sino que tienen núcleos pequeños y pesados separados por distancias enormes en escala subatómica. Si una partícula alfa relativamente ligera golpea por azar uno de estos núcleos, rebota hacia atrás. Rutherford exploró los átomos y núcleos durante otras dos décadas, a menudo en colaboración, pero siguió trabajando solo durante la primera guerra mundial, mientras sus colegas más jóvenes estaban en el frente (algunos de ellos murieron allí).

Bajo la guía de Rutherford se comprendió la estructura atómica de una forma más clara, pero no por ello dejó de ser algo extraordinario. Cuando murió, en 1937, los científicos habían descubierto los protones y los neutrones, podían dividir núcleos de forma artificial bombardeándolos con neutrones y se habían construido los primeros aceleradores lineales para producir haces de partículas de alta velocidad. Sin embargo, mirando hacia atrás, parece que Rutherford se tomó bastante trabajo en quitar importancia a las potenciales aplicaciones de sus investigaciones. En una de sus últimas conferencias públicas, Rutherford advirtió a su público de que «las perspectivas para obtener energía útil de los átomos mediante procesos artificiales de transformación no parecen muy prometedoras». La guerra estalló un par de años más tarde, y sus predicciones no tardaron mucho en tomar un sorprendente tinte de ingenuidad: las primeras bombas atómicas fueron lanzadas es 1945[100].

4 - Partículas

> He hallado en la dama naturaleza una amante no cruel, pero sí muy tímida: noches de vigilia, días de inquietud, frugales comidas, y esfuerzo sin fin es el premio de aquellos que la persiguen a través de sus laberintos y meandros.
>
> Alexander Pope, *Memorias de la extraordinaria vida, obra y descubrimientos de Martin Scriblerus* (1741)

Para los químicos que aprecian el orden, la tabla periódica representa el testimonio supremo del ingenio humano, Calificada de llave para decodificar el cosmos, esta secuencia lógica condensa la miríada de sustancias que componen el Universo en un modelo sencillo con aspecto de *sudoku* químico gigante. Los elementos están alineados en filas por orden numérico, cada átomo con un protón más que el anterior. En cambio, si se lee la tabla en vertical, los elementos de cada columna tienen la característica común de tener el mismo número de electrones libres. Esta belleza taxonómica no era en absoluto evidente, y solo se puso de manifiesto tras décadas de investigación. Durante la creación de la tabla, en la segunda mitad del siglo XIX, los científicos no sabían nada acerca de la estructura interna de los átomos; creían que sé trataba de partículas indivisibles, los bloques de construcción básicos de la materia. Las anomalías, espacios en blanco y rarezas velaron los primeros intentos de ordenar matemáticamente los elementos.

Una mirada cínica a través de los escuetos símbolos de la tabla sugiere también las decisiones políticas ocultas en su interior. Tradicionalmente, el nombre de un elemento daba una pista acerca de sus propiedades: argón el inerte, oxígeno el acidificador (una herencia errónea de Antoine Lavoisier) o mercurio el rápido, el mensajero griego de los dioses. Los más recientes reflejaban la gloria de sus descubridores, como el polonio de Marie Curie o el europio del inglés William Crookes (también famoso por el espiritismo). Después de la segunda guerra mundial, cuando se creaban sustancias pesadas inestables dentro de los aceleradores, la ciencia se convirtió en un frente de batalla de la guerra fría; no es una coincidencia que el americio, el berkelio y

el californio estén en la misma fila y a muy poca distancia entre sí, que el soviético kurchatovio fuese diplomáticamente rebautizado como rutherfordio y que los investigadores norteamericanos se negasen a bautizar un elemento con el nombre del creador de la tabla, el químico ruso Dmitri Mendeleev.

Pero ¿fue realmente Mendeleev el que inventó la tabla periódica? Fuera de Rusia, algunos historiadores han sido reacios a otorgar este galardón a Mendeleev. En sus versiones de la historia, Mendeleev es solo uno de los seis científicos que desarrollaron gradualmente esquemas similares de forma más o menos coetánea. Pero para los rusos no hay duda: Mendeleev, profesor de química en San Petersburgo y consejero del gobierno, es el mayor de los héroes científicos de la nación. Según ellos, después de quince años de meticuloso estudio, el concepto de periodicidad acudió de repente a la mente de Mendeleev un día de 1869; sin embargo, a pesar de ser una persona brillante, se vio obligado a pasar décadas de lucha combatiendo a críticos hostiles e ignorantes. Durante la era soviética, el estatus de Mendeleev como símbolo nacional creció aún más, a causa de su compromiso político con la mejora de la producción industrial y su convencimiento de que la sociedad podía explicarse desde un punto de vista científico, doctrinas ambas que combinaban bien con la ideología marxista.

Los debates acerca del estatus de Mendeleev como inspirado genio discurren por derroteros predecibles. Los prorrusos sostienen que el problema es que los occidentales son incapaces de leer las fuentes originales, mientras que los escépticos hacen hincapié en la extensa y duradera oposición a las ideas de Mendeleev. Este tipo de polémicas sobre descubridores heroicos son recurrentes al analizar la historia de la ciencia, porque ni las teorías ni los inventos nacen totalmente formados, sino que se desarrollan durante años, con frecuencia mucho tiempo después de la muerte de la persona que los originó. Sin embargo, quizá Mendeleev merezca una atención especial por su trabajo excepcionalmente duro y prolongado en el impulso de su tabla. Como bromeaba Sigmund Freud, aunque otros científicos conocían la ley periódica, Mendeleev se casó con ella.

Al principio Mendeleev alineó los elementos según sus propiedades químicas, ordenándolos como naipes en un juego de paciencia científica. Algunas relaciones nos parecen ahora obvias. Por ejemplo, el cobre, la plata y el oro, alineados verticalmente, llevaban siglos agrupados; asímismo, los gases recientemente descubiertos flúor, cloro y yodo se parecen también entre sí. A continuación Mendeleev pensó que también sería adecuado ordenar los elementos según sus pesos atómicos; a pesar de que los químicos nunca

habían visto un átomo, sí habían descubierto procedimientos para saber cuál era su peso. Pero aquí las cosas se empezaron a torcer. Por mucho que mezclase su baraja de naipes químicos, Mendeleev no conseguía que los elementos obedeciesen sus simples reglas.

Para salir del punto muerto, Mendeleev tomó una medida osada y polémica: en lugar de modificar su hipótesis decidió atacar sus datos. Mendeleev decidió que algunos pesos atómicos se habían medido incorrectamente. También predijo que en el futuro se descubrirían nuevos elementos que ocuparían los poco elegantes huecos de su tabla. Incluso en Rusia, los químicos convencionales se burlaron de su enfoque teórico; en la lejana Europa occidental, sus estrafalarias sugerencias fueron ignoradas. Pero las pruebas en apoyo de las ideas de Mendeleev se fueron acumulando; finalmente, Mendeleev obtuvo un triunfo público a costa de un científico francés que había aislado recientemente un nuevo elemento. El francés puso a su elemento el patriótico nombre de galio, pero fue el químico ruso el que predijo correctamente sus propiedades a partir de su situación en la tabla periódica.

Aunque Mendeleev negó siempre la existencia de los electrones, más adelante estos resultaron esenciales para la ordenación de los elementos en la tabla. La posición de un elemento no está determinada por su peso atómico, sino por su número atómico, es decir, el número de protones, de carga positiva, que contiene su núcleo, protones que están equilibrados eléctricamente por el mismo número de electrones negativos. A principios del siglo XX, muchas de las investigaciones sobre la estructura del átomo se llevaban a cabo en el laboratorio Cavendish de Cambridge, donde Thomson había identificado los electrones y los experimentos de dispersión de Rutherford habían mostrado el minúsculo tamaño del núcleo dentro del átomo. Los científicos de Cambridge pronto se dieron cuenta de que los núcleos debían de estar constituidos de partículas aún más pequeñas, y su primera idea fue que cada núcleo contiene grandes protones positivos y también minúsculos electrones negativos, todo ello rodeado por una difusa nube de electrones adicionales. Sin embargo, esto generaba algunos confusos misterios: ¿por qué elementos similares tenían un número tan distinto de electrones externos?

Igual que Mendeleev y sus contemporáneos, los científicos atómicos buscaban patrones numéricos. Si uno cree que el Universo está organizado de forma lógica, entonces es razonable buscar la simplicidad matemática, el tipo de belleza estética dominada por leyes en la que creía Einstein. Los

investigadores británicos, ante la masa de desconcertantes observaciones, decidieron dar un paso tranquilizador: modelar lo desconocido según lo conocido. Visualizaron cada átomo como un sistema planetario en miniatura, con el Sol-núcleo en el centro y los planetas-electrones girando a su alrededor. Pero las analogías nunca son perfectas… y aquí es donde intervino el físico danés Niels Bohr.

Se suele decir que Bohr solo se ve superado por Einstein entre los físicos del siglo XX, y el grupo del Cavendish le solía llamar «el gran danés» para reflejar tanto su nacionalidad como su porte taciturno. Fue Bohr quien impuso orden en los electrones de los átomos. Como expresó uno de sus colegas, Bohr decidió que los electrones debían comportarse no como autobuses, sino como tranvías, viajar sobre raíles en lugar de rodar por donde les apeteciese. En el modelo de Bohr, los electrones están confinados a órbitas específicas, cada una de las cuales es capaz de alojar un cierto número de electrones; cuando una órbita está llena, los electrones empiezan a llenar la siguiente capa disponible hacia fuera. Este modelo ofrecía una explicación aceptable para las similitudes de comportamiento de los elementos de cada columna de la tabla periódica: todos ellos tienen el mismo número de electrones en las órbitas más externas.

La explicación de Bohr aclaraba en gran medida la distribución de la tabla periódica, lo cual era muy gratificante; sin embargo, seguía siendo difícil comprender qué hace que partículas cargadas puedan mantenerse unidas en un núcleo diminuto. La respuesta simplificó y complicó a la vez la situación: en 1932, James Chadwick descubrió una tercera partícula subatómica: el neutrón (si se me permite especular, como en una de esas situaciones históricas del tipo «¿Qué hubiera pasado sí…?», quizá Chadwick habría llegado antes a esta conclusión si no hubiese estado internado en Alemania durante la primera guerra mundial, aquejado de una enfermedad crónica y obligado a vivir en un establo atestado). Los experimentos de Chadwick revelaban que los neutrones eran pesados, como los protones, pero no tenían carga; de ahí su nombre. Los científicos empezaron a reorganizar sus modelos atómicos, desterrando a los electrones del núcleo, que pasó a constar únicamente de protones y neutrones. Pero la respuesta a estos enigmas generó nuevas preguntas. Ya había tres partículas subatómicas (electrones, protones y neutrones); ¿cuántas más podía haber? ¿Qué tipo de pegamento mantenía agrupado el núcleo, impidiendo que la repulsión entre los protones positivos lo destruyese? ¿Podía ser cierto un «principio de las muñecas rusas»? Es decir: si los átomos contienen núcleos y el núcleo contiene protones y

neutrones, ¿era posible que hubiese partículas aún más pequeñas esperando ser descubiertas?

Sí, lo era. En 1959 se contaban ya treinta partículas, a pesar de la ralentización de las investigaciones durante la segunda guerra mundial, cuando el trabajo de numerosos científicos se vio desviado hacia la esfera militar. El más importante de los instrumentos que contribuyeron a la revelación de la existencia de estas partículas fue la cámara de niebla, prototipo de otros dispositivos modernos y fuente de innumerables imágenes como las de la Figura 45**[f45]**. Los enigmáticos trazos blancos entrecruzados revelan las huellas permanentes del rápido vuelo y la breve existencia de partículas que, de otro modo, resultarían invisibles.

Igual que otros aparatos científicos, la finalidad original de las cámaras de niebla era distinta: en este caso, reproducir el tiempo atmosférico. Este dispositivo que actualmente pertenece al dominio de la física de altas energías fue inventado por Charles Wilson, un meteorólogo de la época victoriana que trabajaba en Cambridge, en los límites de la ciencia. Mientras que la línea central del laboratorio Cavendish era el análisis y la experimentación, Wilson aspiraba a comprender los fenómenos naturales mediante su replicación, y en su laboratorio intentó generar los gloriosos efectos de las nubes bañadas por el sol de las montañas de su Escocia natal. Al principio Wilson produjo niebla artificial mediante la condensación de gotas de agua en motas de polvo flotantes; tras años de investigación, su instrumento se había convertido en un aparato capaz de fotografiar el rastro de gotas creado por partículas cargadas, Wilson había cambiado la meteorología mediante la importación de técnicas de la física, pero también amplió el punto de vista de los físicos al permitirles visualizar el universo submicroscópico de los rayos cósmicos y los átomos.

El análisis de los resultados era una tarea que exigía destreza y paciencia. Para los profanos era complicado distinguir un grupo de manchas y trazos de otro. Y aunque las cámaras de niebla producían miles de fotografías, tan solo ocasionalmente aparecía una en la que se hubiese capturado una colisión o explosión singular que revelara la existencia de otra partícula. El examen de la gran masa de fotografías representó un mal pagado trabajo para las amas de casa norteamericanas —esa fuerza de trabajo esencial, aunque apenas reconocida, de la física atómica—, cuyos ojos y cerebros estaban finamente adaptados para detectar la más mínima anomalía en los patrones en blanco y negro.

En 1932, el año en el que Chadwick descubrió los neutrones, la fotografía de la Figura 45 fue revelada en California. Aunque los científicos estaban

entusiasmados, no lograban ponerse de acuerdo en lo que la fotografía mostraba. Si hacemos caso omiso de la barra horizontal gruesa —es una placa de plomo—, el rasgo clave de la imagen es el fino arco que la cruza verticalmente. Se ofrecieron cuatro explicaciones distintas, pero solo una de ellas sobrevivió a los debates posteriores: dos partículas se habían creado simultáneamente, un electrón negativo curvado hacia abajo por un campo magnético y su imagen especular, una diminuta partícula positiva que se alejaba en la dirección opuesta. A pesar de las dudas iniciales y de la falta de claridad de la fotografía para ojos no entrenados, los científicos aceptan actualmente que se trata de una prueba visible e inequívoca de la existencia de los positrones, los compañeros positivos de los electrones.

La información visual, que supuestamente revela los secretos de la naturaleza para que todos puedan verlos, oculta una cierta ironía. Cuando se le preguntaba a Rutherford acerca de la realidad de las partículas alfa, solía responder con irritación que él era capaz de verlas con la misma claridad que la cuchara en su mano. Efectivamente, «ver para creer»… pero solo si uno es un experto con la formación adecuada. De forma instintiva, se puede pensar que el uso de máquinas para la recolección de datos aumenta la objetividad al eliminar a los falibles observadores humanos. En la práctica, los científicos victorianos se dieron cuenta de que solía suceder lo contrario, porque el proceso de descifrar los resultados generados por equipos tecnológicos exige mucha interpretación. Las fotografías de partículas subatómicas ofrecen pruebas definitivas independientes de cualquier ser humano; sin embargo, igual que ocurre con las exploraciones por resonancia magnética o con los mapas térmicos, solo son inteligibles para unos pocos.

Los químicos victorianos impusieron orden en los elementos, organizándolos en el ordenado casillero de la tabla periódica. Así mismo, durante la segunda mitad del siglo XX, los físicos organizaron las partículas subatómicas en una matriz denominada Modelo estándar. El Modelo estándar hacía que el mundo subatómico pareciese pulcro y ordenado, con las partículas, de extraños nombres —fermiones y bosones, leptones y gluones—, dispuestas en sistemáticas filas. Sin embargo, como había sucedido con la tabla periódica, llegar a esta simplicidad taxonómica no fue tarea fácil. En el cuaderno de laboratorio de un físico de altas energías podemos leer este relato con moraleja: «El hombre estaba cansado después de trabajar durante semanas en su zona del arroyo. Inclinándose sobre su batea, vio dos pequeñas piedras brillantes. “¡Eureka!”, exclamó, y se puso de pie para examinar con más detalle el contenido de la batea. Otros se acercaron para ver a qué venía

tanto alboroto y, en la confusión, el contenido de la batea cayó al arroyo. ¿Eran las piedras de oro o de pirita? De nuevo, el hombre se puso a filtrar el lodo»[101].

Los científicos no solo necesitan experimentos: también necesitan teorías. Para no dejarse engañar por el oro de los tontos, tienen antes que investigar cuál es el mejor lugar para buscar. El homólogo de Mendeleev fue Murray Gell-Mann, un científico norteamericano que —como Mendeleev— tuvo la suficiente seguridad en sí mismo para dejar un espacio en su Modelo, prediciendo (correctamente, como se vio más adelante) la existencia de otra partícula para llenarlo. Gell-Mann imaginó también la existencia de una nueva familia de partículas aún menores, los diminutos componentes internos de los protones y los neutrones: los *quarks*, un nombre que tomó de la obra de James Joyce *Finnegan's Wake*. Los equipos de investigación emplearon tácticas diversas para confirmar las ideas de Gell-Mann; finalmente, en 1974, hallaron la demostración que necesitaban para confirmar sus especulaciones.

Desde entonces se ha predicho la existencia de más quarks, que han sido hallados y clasificados con «sabores» de nombres caprichosos como *charrn* (encantado) o *strange* (extraño). Pero siguen siendo invisibles: nadie ha visto nunca un quark. Entonces, ¿cómo podemos estar seguros de que existen? Los científicos tienen su respuesta: los quarks, declaran, tienen que ser reales porque explican con gran precisión lo que sucede en los experimentos. Una y otra vez, en situaciones diversas, los investigadores predijeron resultados teóricos suponiendo que los quarks existían, para luego hallar que sus predicciones se adaptaban perfectamente a los resultados experimentales. Esto sucedía en numerosos laboratorios que utilizaban enfoques distintos, no solo en un equipo decidido a demostrar sus convicciones específicas. A medida que se acumulaban las pruebas, cada vez se hacía más difícil imaginar la posibilidad de una explicación distinta.

Y sin embargo, algunos misterios siguen ahí. Pensemos en la masa, que parece más fácil de entender intuitivamente que las esotéricas fuerzas y spins cuánticos. Los científicos han agrupado ordenadamente todas las partículas en tres familias: ligeras, medias y pesadas. La diferencia entre la más ligera y la más pesada es similar a la que existe entre un elefante y una minúscula hormiga; pero ¿por qué hay tanta variación en las masas? Y, en cualquier caso, ¿qué es la masa? Resulta que, aunque existen tres posibles explicaciones, dos de ellas dependen de la hipotética detección de una nueva partícula conjeturada —el bosón de Higgs—. Aun en el caso de que se demuestre la existencia de tal bosón, una pregunta seguiría sin respuesta: ¿por

qué el mundo que percibimos está compuesto únicamente de partículas de una de las familias, incluido el bosón de Higgs?

Cuando Mendeleev dejó sus descarados espacios en la tabla, los científicos le acusaron de poner la teoría por encima de las observaciones. La búsqueda del bosón de Higgs exige la construcción de instrumentos cada vez mayores, diseñados específicamente para encontrar algo determinado. Ideológicamente, la investigación científica significa la comprobación de predicciones. En la práctica, sin embargo, con el aumento de las apuestas tanto en el nivel teórico como financiero, también puede suponer su confirmación.

5 - Genes

¡Ah, amor mío, seamos sinceros el uno con el otro! Porque el mundo, que parece mostrarse ante nosotros como un lugar de ensueño, tan diverso, tan bello, tan nuevo, no contiene en realidad felicidad, ni amor, ni luz, ni certeza, ni paz, ni remedio para el dolor.

Matthew Arnold, *Dover Beach* (1867)

A Charles Darwin, un padre amante, le atormentaban los remordimientos por las implicaciones de sus propias teorías, y se culpaba a sí mismo de haber reducido la aptitud para la supervivencia de sus hijos al haberse casado con su prima hermana. También le preocupaba la degeneración de la nación entera, y advertía a sus prósperos lectores victorianos que «los miembros de la sociedad más insensatos, degradados y, con frecuencia, crueles [se refería, sin demasiadas sutilezas, a los irlandeses] tienden a reproducirse a un ritmo superior al de sus miembros más prudentes y, en general, virtuosos [subtexto: las personas como él]»**[102]**.

Los políticos, que compartían su preocupación, utilizaron las ideas de Darwin sobre la evolución para justificar científicamente sus intentos de purificar la raza mediante el control de los nacimientos y la eliminación de los considerados defectuosos. «Esta estirpe salvaje», tronaba un demagogo del siglo XX, «debe ser eliminada hasta donde sea posible… mediante selección artificial inteligente, y la nación que sea capaz de producir la raza más noble e intelectual será victoriosa a largo plazo». Esta arenga en favor de la mejora racial no fue pronunciada por Adolf Hitler, sino por uno de los más célebres doctores británicos en un discurso antialemán**[103]**. En la actualidad, Hitler es la personalización del mal, pero cuando los nazis empezaron a trabajar en su meta de purificación de la raza, estaban siguiendo el ejemplo de otros limpiadores sociales en toda Europa y Estados Unidos.

Desde la década de 1880 y hasta bien entrado el siglo XX, los partidarios de la selección artificial adoptaron dos estrategias complementarias. Un grupo, los eugenistas positivos, alentaba a las personas educadas y ricas a tener más hijos. Sin embargo, su influencia fue menor que la de sus aliados,

los eugenistas negativos, que abogaban por la imposición de draconianas medidas restrictivas, recomendando la esterilización obligatoria de los pobres y el encarcelamiento de las madres solteras. En Suecia, unas sesenta mil personas sufrieron la esterilización obligatoria como parte de un programa de sanidad estatal destinado a liberar fondos mediante la eliminación de los «genéticamente no aptos» (interpretado en general como aquellos que puntuaban bajo en los *test* de inteligencia); este proyecto se extendió nada menos que hasta 1967. Para los nazis, el modelo de comportamiento más obvio era Estados Unidos. Al otro lado del Atlántico, acaudalados donantes contribuían con millones de dólares a investigaciones para la «mejora de la raza». Diversos estados habían aprobado leyes que permitían la esterilización de aquellos a quienes se juzgaba como inferiores mental y físicamente, y la normativa de inmigración excluía *de facto* a las personas de origen no nórdico. Hitler llevó el sistema americano hasta el extremo, simplemente matando a cualquiera a quien considerase indeseable: no solo judíos, sino también gays, romaníes y minusválidos mentales.

Lejos de ser un desgraciado callejón sin salida, la eugenesia está firmemente arraigada en las modernas ciencias de la vida. La ciencia eugenésica, originada en Gran Bretaña, fue fundada por otro de los primos de Darwin, Francis Galton, y guiada hasta el siglo XX por el hijo de Darwin, Leonard. Estas relaciones familiares resultan significativas porque Galton recopiló un influyente estudio sobre las mejores mentes de Gran Bretaña para apoyar su afirmación de que el genio se pasa de padres a hijos (aunque no reconoció el posible papel de las madres en el proceso). No todos quedaron convencidos del papel único de la herencia en la inteligencia. Los debates sobre el papel de la herencia y el de la educación eran tan vehementes en la época victoriana como lo son en la actualidad, y los críticos más agudos señalaban que los hijos de familias ricas se beneficiaban claramente de una educación mejor. Para rebatir estas objeciones, Galton defendió su programa eugenésico mediante el desarrollo de nuevas técnicas estadísticas, los mismos métodos matemáticos cuantitativos que más adelante permitieron fundar el darwinismo moderno.

A principios del siglo XX, las ideas de Darwin eran ferozmente atacadas en libros con títulos tan dramáticos como *En el lecho de muerte del darwinismo*. Esta virulenta oposición no procedía únicamente de ambientes religiosos, sino también de diversos sectores científicos. Ya no parecía haber dudas sobre la realidad de la evolución; el problema consistía en decidir cómo había sucedido. Los paleontólogos hacían hincapié en los grandes huecos en

el registro fósil, que indicaban que la evolución, en lugar de suceder de forma uniforme y gradual, había ocurrido en saltos súbitos en distintos lugares del mundo. Los críticos acusaban también a Darwin de no haber sido capaz de hallar una explicación convincente sobre el modo en que los organismos podían modificarse de una generación a la siguiente. Algunos científicos (incluido el propio Darwin) se hicieron eco de la lamarquiana idea de que los hijos podían heredar las características adquiridas por sus padres; otros sugirieron que el desarrollo de un descendiente puede quedar determinado, de algún modo, por la mezcla del plasma germinal de sus padres; este plasma germinal se definía vagamente como una sustancia inmutable que contenía conjuntos de instrucciones en código. Muchos científicos esperaban hallar un modelo evolutivo que no estuviese basado en una implacable lucha por la supervivencia que encontraban moralmente repulsiva.

Uno de los principales movimientos antidarwinianos fue el mendelismo, lo que no deja de ser sorprendente si se tiene en cuenta su actual importancia en las teorías evolutivas. Echando por tierra cualquier imagen de que el progreso científico avanza en línea recta, la genética moderna se basa en experimentos que inicialmente se utilizaron para oponerse a la evolución por selección natural de Darwin; a diferencia del modelo de cambio gradual y continuo, la investigación de Gregor Mendel apoyaba la idea de las transformaciones abruptas. Este monje centroeuropeo ha adquirido un halo romántico que se ha hecho aún más intenso debido a la escasez de información sólida. Mendel, un intelectual de escasos recursos, era contemporáneo de Darwin, pero llevó a cabo su investigación en un remoto monasterio y publicó sus resultados en un poco conocido periódico local. Pasaron más de tres décadas antes de que varios biólogos (el número exacto es materia de discusión académica) redescubrieran de forma independiente los trabajos de Mendel y los incorporaran en sus propios proyectos.

Darwin + Mendel = Darwinismo moderno; ¡ojalá fuese tan sencillo! Por desgracia para los amantes del modelo ordenado de la historia, esta sencilla ecuación simplemente no funciona. La versión revisada de la evolución por selección natural se desarrolló de forma gradual y esporádica durante la primera mitad del siglo XX, a medida que las conclusiones de grupos de investigación muy diversos eran refutadas, alteradas y moldeadas hasta adquirir una forma nueva. El propio Mendel no sabía nada de genes, un concepto que se introdujo mucho tiempo después de su muerte, y estaba más interesado en el cultivo de plantas que en las discusiones sobre los orígenes del ser humano. Mendel creía que podía producir una nueva especie de planta

mediante *hibridación* (la combinación de dos especies diferentes, un equivalente vegetal a criar mulas a partir de caballos y asnos), y se propuso describir matemáticamente el proceso.

Igual que muchos otros científicos, Mendel ya tenía una idea bastante clara de lo que quería hallar antes de empezar a experimentar. Asímismo, sus resultados eran sospechosamente precisos. Como sujeto de su investigación Mendel eligió guisantes de jardín ordinarios. Después de cruzar cepas de características distintas, Mendel examinó cómo las características de los padres se transmitían a los hijos. Por ejemplo, cuando mezcló guisantes altos y bajos, Mendel halló que, en la primera generación, todas las nuevas plantas eran altas; sin embargo, al cruzar estas entre sí, la generación siguiente contenía (¡exactamente!) tres plantas altas por cada baja. La talla baja, que había quedado oculta, reapareció, como si estuviese ligada a algún tipo de factor recesivo compensado por la dominante talla alta.

Cuando se redescubrió la obra de Mendel en 1900, su enfoque matemático resultó atractivo para una nueva generación de investigadores que tenían la intención de establecer la biología como una ciencia moderna basada en pruebas sólidas. El mayor defensor de Mendel fue William Bateson, un evolucionista de Cambridge que inventó la palabra «genética» y que estaba convencido de que la herencia tiene lugar en pequeños pasos discontinuos. Los criadores profesionales de animales y plantas quedaron encantados de que los experimentos de Bateson confirmaran las proporciones numéricas de Mendel, ya que la capacidad de predecir las características de la descendencia con mayor precisión les permitiría aumentar sus beneficios. En cambio, la conversión de los científicos fue más lenta. Entre los antagonistas no solo se hallaban los estadísticos británicos prodarwinianos sucesores de Galton, que afirmaban que la evolución era continua, sino también Thomas Hunt Morgan, un embriólogo americano.

Morgan es otro de los héroes antiintuitivos de la evolución darwiniana. Aunque acabó ganando el premio Nobel por demostrar que el mendelismo funciona, al principio Morgan se oponía a esta nueva teoría. Los «factores» dominantes y recesivos de Mendel eran, decía, demasiado vagos para tomárselos en serio y, en todo caso, lo más probable era que solo afectasen a los guisantes y a otras cuantas plantas. Sus propias investigaciones le convencieron de lo contrario. Morgan transformó la ciencia de la genética, al llevarla de los entornos naturales —jardines, bosques, corrales— a los laboratorios, en donde se podían efectuar experimentos cuidadosamente controlados. Con un presupuesto misérrimo, Morgan y su equipo relacionaron

los imprecisos «factores» de Mendel con entidades físicas en el interior de las células vivas.

Es de crucial importancia que Morgan eligiese un organismo especialmente adecuado: la *Drosophila*, una mosca de la fruta de rápida reproducción y cuyas mutaciones eran visibles con claridad. En la Figura 46**[f46]** se muestran seis de sus sujetos experimentales, criados con otros miles en el interior de botellas de leche lavadas y reutilizadas que se apilaban sobre viejas mesas de madera en la «Sala de moscas» casera de Morgan. Estos mutantes artificiales tienen diferencias en las alas, a las que se asignaron prosaicas etiquetas como «cortadas» (arriba a la izquierda) y «achaparradas» (arriba a la derecha y abajo a la izquierda). Al examinar la herencia de caracteres, como la forma de las alas y el color de los ojos, el equipo de Morgan identificó el papel vital de los cromosomas, diminutas hebras situadas en el interior de los núcleos celulares que eran visibles a través de sus microscopios. Fueron incluso más allá, puesto que dividieron provisionalmente los cromosomas en partes separadas llamadas genes, unidades hipotéticas, que en aquel momento resultaban invisibles, responsables de la transmisión de caracteres específicos —sexo, ojos albinos, alas con «cuentas»— de una generación a la siguiente. Morgan hizo convincente el mendelismo al demostrar que sus leyes numéricas tienen un origen físico en las propias células.

Sin embargo, aunque los genes forman el núcleo del darwinismo moderno, el origen de la genética de laboratorio fue antidarwiniano: Morgan publicó sus imágenes de moscas en un libro titulado *A critique of the theory of evolution*. Aunque admitía que las pequeñas mutaciones pueden acabar afectando a la totalidad de una población, Morgan nunca pudo aceptar que la evolución operase mediante la aniquilación implacable de los débiles. Morgan y sus seguidores sostenían, en cambio, que una raza mejora gradualmente mediante la incorporación de pequeños cambios ventajosos. Estos debates prosiguieron hasta mediados del siglo XX; casi cien años después de que Darwin publicase *El origen de las especies*, aún no existía consenso acerca de la selección natural entre los científicos.

Entre 1920 y 1950 aproximadamente se sintetizó una nueva forma de darwinismo mediante la combinación de diferentes enfoques procedentes de todo el mundo en un nuevo modelo teórico. Aparte de las contribuciones de los experimentadores de laboratorios americanos, otra importante aportación surgió de un grupo de matemáticos teóricos en Londres. En lugar de fijarse en organismos individuales, estos matemáticos estudiaron grandes poblaciones

con un enfoque estadístico, trazando curvas suaves que intuían que las características se heredan de forma continua, no en pasos discretos como sugería el trabajo de Morgan. Para reconciliar estos puntos de vista, los matemáticos genetistas de poblaciones efectuaron algunos ingeniosos (y muy complejos) cálculos en los que se mostraba que, aunque las pequeñas alteraciones individuales pueden ocurrir de forma abrupta, las grandes transformaciones globales parecen graduales.

Los naturalistas de campo, científicos que estudiaban plantas y animales silvestres en sus entornos naturales, efectuaron nuevas contribuciones. Aunque no estaban habituados a las abstrusas fórmulas creadas por los estadísticos, habían llegado a la misma conclusión: el estudio de poblaciones era fundamental. Durante la primera parte del siglo XX, este enfoque prodarwiniano fue especialmente importante en Rusia, donde los biólogos evolucionistas investigaban lo que les sucedía a las moscas de la fruta locales cuando introducían algunos de los especímenes criados en el laboratorio de Morgan. En la explicación de sus resultados asumían que las variaciones ya existían en el acervo genético de una población y no se utilizaban hasta que no resultaban necesarias para enfrentarse a un cambio. Por ejemplo, cuando los árboles de las ciudades industriales se ensuciaban a causa del humo durante el siglo XIX, la mariposa del abedul se hizo vulnerable a los depredadores al aumentar su visibilidad contra los troncos oscurecidos, hasta que, en un rápido proceso de adaptación, la forma gris —anteriormente rara— empezó a predominar.

A lo largo de varias décadas, investigadores de diversas tendencias se pusieron en contacto entre sí e intercambiaron ideas, construyendo poco a poco la síntesis que subyace al darwinismo moderno. Como ejemplo de esta fusión, en 1927, un científico ruso llamado Theodosius Dobzhansky viajó a Estados Unidos para unirse al equipo de Morgan, llevando consigo su punto de vista nacional sobre poblaciones. Durante sus investigaciones personales con insectos, Dobzhansky combinó su experiencia práctica como naturalista con las formulaciones abstractas de los matemáticos y las estadísticas de laboratorio de los genetistas. Hacia la segunda mitad del siglo XX, este estilo de investigación en colaboración se había estandarizado, y los científicos estaban de acuerdo en que los genes eran el mecanismo secreto de herencia que Darwin no conocía.

O así era en la mayoría de los casos, aunque no en la Rusia de Stalin. A pesar de la transcendencia de las primeras investigaciones rusas, en el año 1940 los principales genetistas del país habían sido deportados a Siberia y el

poder estaba en manos de un perito agrónomo de Ucrania llamado Trofim Lysenko. En una nueva vuelta de tuerca a las ideas de Lamarck, Lysenko afirmó que los efectos permanentes y susceptibles de ser heredados podían ser generados mediante cambios en el entorno. Como muchos científicos rusos, Lysenko estaba comprometido con el alivio de la escasez de alimentos, y sus primeras pruebas de cultivo de trigo sometiendo a las semillas a bajas temperaturas produjeron el tipo de resultados imprecisos que los políticos deseaban oír. Mediante hábiles maniobras —como proclamar que Josef Stalin apoyaba sus planes para remodelar la agricultura soviética y proscribir la genética occidental—. Lysenko trepó en las jerarquías científica y política hasta alcanzar una posición de poder. Bajo este régimen agrícola, las cosechas de las granjas se redujeron y la población pasó hambre hasta la destitución de Lysenko en 1965.

El lysenkoísmo —como el mesmerismo— se suele menospreciar calificándolo de pseudociencia. Sin embargo, en aquel momento, la situación no estaba tan clara, y las armas de la batalla eran las palabras, no las ideas. Para derrocar a Lysenko, sus críticos dentro y fuera de Rusia agitaron la histeria colectiva calificándolo de charlatán. Por otra parte, los aliados de Lysenko adoptaron tácticas complementarias, denunciando el mendelismo por sus vínculos con el fascismo, el imperialismo y la corrupta cultura burguesa. Hace mucho tiempo que el lysenkoísmo está desacreditado, pero ciertamente sus partidarios arremetieron contra el punto de vista mayoritario con convincentes críticas. Las caricaturas de la Figura 47**[f47]** aparecieron en una popular revista semanal de noticias soviética, acompañando a un agresivo artículo en el que se denunciaba a los seguidores de Mendel y Morgan. En el artículo, llamado «Amor a las moscas, odio a las personas», se vilipendiaba a los angloamericanos por utilizar la ciencia para justificar ideologías racistas**[104]**.

Los marxistas creían que la cría de moscas de la fruta representaba una búsqueda vana de los invisibles genes. Es más, desde su perspectiva, la genética era inseparable de la política y de las grandes empresas. El autor de «Amor a las moscas, odio a las personas» no era periodista ni político, sino un profesor de biología soviético muy bien informado. Centrándose en los eugenistas norteamericanos y sus recientes insinuaciones sobre esterilización, evocaba para sus lectores el retorcido rostro de un vigilante del Ku Klux Klan espiando por encima del hombro de un genetista; en el dibujo de la izquierda, los tres hombres cogidos del brazo personifican el racismo, la ciencia mortal y el estado. En la caricatura del centro, un panfleto nazi sobresale del bolsillo de

un microscopista que busca inútilmente entidades inmateriales. En la derecha, un burdo capitalista norteamericano maneja las riendas de unos insignificantes científicos que, al tiempo que afirman su independencia, agitan una «Bandera de ciencia pura» que contiene un gran símbolo de dólar.

A pesar de que la etiqueta «darwinismo» se lleva utilizando desde mediados del siglo XIX, su significado ha cambiado enormemente. Para las personas que relacionan ciencia con progreso, la síntesis moderna es sin duda una gran mejora respecto de la versión original de Darwin, ya que se basa en complejas estadísticas, sólidas investigaciones de laboratorio e innumerables confirmaciones experimentales. Sin embargo, ¿es cierto que las matemáticas y los microscopios conducen inevitablemente a una ciencia mejor? Como señalaban Lysenko y sus aliados soviéticos, depende de lo que se entienda por «mejor». Es posible que su ideología agrícola devastase la economía nacional, pero su desprecio de los vínculos entre genética y eugenesia era razonable, y muchas de las cuestiones éticas que plantearon siguen enturbiando la investigación en nuestros días. Los estadísticos galtonianos y los genes mendelianos dieron a las teorías indemostradas de Darwin una robusta base cuantitativa, pero también racionalizaron los prejuicios de los reformistas eugenésicos. La ciencia y la política estaban íntimamente relacionadas en ambos lados del Telón de Acero.

6 - Sustancias químicas

What is matter? —Never mind.
What is mind? —No matter.

Thomas Hewitt Key, *Punch* (1855)

Denigrar a las mujeres ha sido un deporte popular desde que se acusó a Eva de caer presa de las malas artes de una serpiente en el Jardín del Edén. Cuando Darwin afirmó que la selección natural había dado como resultado una superioridad del hombre sobre la mujer, hasta sus críticos estuvieron de acuerdo con él. Tanto a Darwin como a sus críticos les costaba librarse de sus convicciones victorianas. Darwin se había criado en el convencimiento de que los ingleses eran más civilizados que los irlandeses, que los europeos blancos debían gobernar a los africanos y que los hombres eran más fuertes y más inteligentes que las mujeres. Al integrar estos prejuicios en su teoría de la selección natural, Darwin les dio una justificación científica que contribuyó a su consolidación.

La aprobación de la discriminación mediante la ciencia no era una actitud exclusiva de Darwin. Los anatomistas de la Ilustración exageraban las diferencias entre los esqueletos masculinos y femeninos para adecuarse a las formas corporales ideales, y ordenaban los cráneos de los primates de forma que confirmasen la supremacía europea (Figura 25). Durante el siglo XX, la máscara de la racionalidad objetiva seguía ocultando viejos prejuicios. Según las versiones convencionales del proceso de la concepción, un óvulo femenino yace en un letargo a modo de Bella Durmiente en espera de su príncipe, el heroico espermatozoide que supera a sus rivales y que, haciendo frente a los hostiles flujos vaginales, despierta a su inactivo destino de su sueño. Desde la década de 1980, los científicos posfeministas retorcieron la antropomorfización en la dirección contraria, visualizando a los óvulos como *femmes fatales* que tientan a los espermatozoides errantes con atractivas sustancias químicas para atraparlos mediante zarcillos similares a dedos.

Incluso los experimentadores de laboratorio más escrupulosos enfocan sus investigaciones desde ángulos distintos. A mediados del siglo XIX, algunos fisiólogos alemanes conceptualizaban a las personas como máquinas químicas, lubricadas por fluidos internos para mantener la mente y el cuerpo funcionando sin problemas y al unísono. «El cerebro secreta pensamientos», dictaminaba el polémico científico Karl Vogt, «igual que el estómago secreta jugos gástricos, el hígado bilis y los riñones orina»[105]. En principio, según este grupo, si fuese posible averiguar exactamente cómo funciona el motor humano, se podrían desarrollar remedios químicos para que funcione perfectamente. Los críticos se resistían a admitir el reduccionismo de convertir los seres vivos en moléculas complejas. Sin embargo, este enfoque materialista generó resultados, como medicamentos para luchar contra las infecciones y para ajustar los delicados mecanismos internos. Mediante la detección de sutiles diferencias químicas entre hombre y mujeres, o entre africanos y europeos, también sirvió para proporcionar nuevos argumentos científicos para la discriminación.

Los fisiólogos sondearon en mayor profundidad los tejidos internos del cuerpo humano, buscando metódicamente distinciones de género en cerebros, cabellos y arterias hasta que solo quedó el ojo como estructura *unisex*. A principios del siglo XX, la masculinidad y la feminidad se atribuían a las hormonas, mensajeros químicos transportados por la sangre producidos por las glándulas para el control del comportamiento y de los aspectos físicos. Al mismo tiempo, los médicos estaban diagnosticando condiciones desconocidas con anterioridad y que se calificaban como específicas de razas concretas. El sesgo de algunos de estos diagnósticos era evidente, como en el caso del síndrome etíope de insensibilidad al dolor, inventado como práctica vía de escape para los propietarios de esclavos en plantaciones. Otros se basaban en sólidas pruebas de laboratorio, pero se utilizaron para confirmar posturas fanáticas ya existentes. La anemia falciforme, por ejemplo, se asoció a un tipo de células rojas de la sangre deformadas que en aquel tiempo se hallaban con mayor frecuencia en africanos (y afroamericanos) negros que en norteamericanos blancos. La sangre negra quedó ultrajada como «sangre mala», peligrosa portadora de enfermedades que amenazaban la supervivencia de la raza blanca a través de los matrimonios mixtos.

La ciencia de laboratorio experimentó un crecimiento espectacular en la segunda mitad del siglo XIX, afectando para siempre a la medicina. En términos generales, las enfermedades y sus curas quedaron definidas no por médicos que examinaban los signos superficiales, sino por investigadores

químicos que ponían de manifiesto entidades invisibles. Potentes instrumentos hicieron posible la identificación de organismos microscópicos responsables de enfermedades infecciosas (tuberculosis, cólera, ántrax) y la investigación de procedimientos para destruirlos. Las técnicas desarrolladas en los laboratorios se podían probar luego fuera de ellos, de modo que los enfermos quedaban incorporados en las investigaciones organizadas por los científicos de los laboratorios.

El diagnóstico se alejó de las camas de los pacientes para recalar en los laboratorios de los hospitales, en donde era posible identificar las enfermedades mediante la aplicación de pruebas estándar en muestras procedentes de los cuerpos de personas individuales, que se convertían en anónimos sujetos de examen químico. Los médicos de familia tradicionales se quejaban de que, aunque quizá la medicina se hiciese más eficaz, la atención se centraba ahora en la enfermedad y no en la persona que la sufría. Algunos médicos estaban tan resueltos a analizar enfermedades que pasaban por alto su finalidad principal: evitar el sufrimiento. Esto no solo sucedió en la Alemania nazi, sino también en Estados Unidos. Por ejemplo, un equipo de investigación dejó deliberadamente de tratar la sífilis de sus pacientes —un grupo de hombres negros, un dato significativo— para dedicarse fríamente a observar cómo se desintegraban, para conocer en detalle el desarrollo de las etapas terminales de la enfermedad.

Los fisiólogos químicos empezaron a percibir a los propios pacientes como laboratorios en miniatura. Para ellos, las enfermedades eran una especie de experimento. En la vida real, explicaban, el funcionamiento normal de un cuerpo enfermo había sido alterado de forma natural e involuntaria; en un laboratorio, la normalidad quedaba también afectada, solo que de un modo artificial y deliberado. Algunos experimentadores probaban sus remedios químicos sobre ellos mismos (como el anciano que declaró sentirse milagrosamente rejuvenecido después de inyectarse extracto de testículos de perro). Otros seleccionaban «voluntarios» involuntarios. Después de que un joven fuese mordido por un perro, Louis Pasteur le inyectó una vacuna antirrábica no probada, corriendo el riesgo de matarlo, a pesar de que no estaba claro si se había infectado. A otras personas se las hacía enfermar en condiciones controladas. Por ejemplo, las sospechas sobre la transmisión de la fiebre amarilla se confirmaron exponiendo a víctimas sanas a mosquitos y observando cómo se ponían enfermas; pruebas similares se idearon para explorar los efectos de determinadas sustancias químicas en el cerebro y el sistema nervioso.

Cuando las enfermedades no podían atribuirse a invasores externos, como el bacilo de la tuberculosis o un parásito, los investigadores buscaban causas internas. Para comprender qué era lo que no funcionaba tenían que averiguar qué sucedía en los cuerpos que funcionaban bien, e inventaron todo tipo de instrumental para medir numéricamente las funciones normales del cuerpo. Algunos de estos dispositivos eran mecánicos, pensados para registrar patrones de ritmo cardíaco, respiración o temperatura; otros eran químicos, y medían concentraciones de ácido en el estómago o minerales en los huesos. Algunos eran indoloros —como tomar la presión—, mientras que otros eran más invasivos y exigían la toma de muestras de sangre e incluso cirugía exploratoria, a menudo sin anestesia. No es sorprendente que los sujetos de tales experimentaciones fuesen, en general, pobres, negros o internos de instituciones mentales.

Estar enfermo pasó a significar desviarse de la normalidad; no del equilibrio de humores habitual del paciente, sino de la normalidad estadística de toda la población. A partir de principios del siglo XIX (esto sucedía en París), los pacientes con síntomas similares eran agrupados en grandes salas de hospital, donde podían recibir un tratamiento colectivo. Contando los éxitos y fracasos de los tratamientos, las enfermedades podían clasificarse sistemáticamente, los efectos de nuevos fármacos se podían supervisar con detalle y se podían conservar registros para comparar las características físicas de los enfermos y los sanos. A medida que los enfoques estadísticos se imponían, los médicos se enfrentaban a las enfermedades efectuando mediciones del cuerpo del paciente con instrumentos científicos —termómetros, estetoscopios, esfigmomanómetros— y luego describiéndolas en términos numéricos. La novedad residía en el aspecto cuantitativo de este enfoque. Por ejemplo, William Harvey había demostrado la acción de bombeo del corazón a principios del siglo XVII, pero tuvieron que pasar más de doscientos años hasta que los médicos empezaron a registrar de forma habitual los ritmos cardíacos con precisión.

Las investigaciones químicas de la normalidad permitieron a los médicos aliviar afecciones que llevaban milenios amenazando la supervivencia de las personas. Fijémonos, por ejemplo, en el caso de la diabetes. Desde la antigüedad, una generación de médicos tras otra había ido refinando su diagnóstico; a mediados del siglo XIX habían limitado su origen hasta localizarlo en el páncreas. El ritmo de descubrimientos se aceleró con el aislamiento de la insulina por parte de los primeros investigadores fascinados por las hormonas químicas; los practicantes de la medicina clínica la probaron

posteriormente en los pacientes de los hospitales. La etapa siguiente de la historia no es agradable, y está manchada por una odiosa lucha de prioridades. Sin embargo, los resultados confirmaron de forma impresionante el poder de la investigación fisiológica y biomédica; tras la espectacular recuperación de algunos de los primeros sujetos experimentales, la insulina empezó a producirse en masa en la década de 1920, y la diabetes dejó de ser una enfermedad mortal para pasar a ser un estado con el que era posible vivir.

Este tipo de progreso acumulativo es un concepto muy gratificante y se encuentra implícito en muchas versiones de la historia de la ciencia. En la Figura 48**[f48]**, el modelo de una molécula de insulina se encuentra entre los desordenados papeles del escritorio de Dorothy Hodgkin, que obtuvo un premió Nobel por sus investigaciones sobre cristalografía, una disciplina con un número excepcionalmente alto de mujeres ilustres. La luz de la ventana se proyecta sobre su modelo molecular de bolas que, como el conocimiento que representa, perdurará por siempre como prueba de los cada vez mayores avances de la investigación científica. En contraste, el bocadillo a medio comer está destinado a desintegrarse, como la propia Hodgkin, en cuya humana fugacidad hacen hincapié sus nudosas manos, la dolorosa consecuencia de la artritis reumatoide crónica.

Representada aquí de forma simbólica efectuando múltiples actividades —escribiendo en un cuaderno, inspeccionando un dibujo, mirando a través de una lupa doble—. Hodgkin también estuvo en la vida real implicada en varios proyectos de investigación. Aparte de analizar la insulina, estudió también la penicilina y la vitamina B12, tres sustancias fundamentales que transformaron la medicina de distintas formas. Mientras que la insulina fue finalmente sintetizada para tratar una enfermedad específica, la penicilina fue la droga milagrosa de la segunda guerra mundial, al eliminar una amplia gama de infecciones; la vitamina B12, por su parte, es esencial para la curación de la anemia perniciosa, una dolencia que no había sido identificada anteriormente. Sus historias sirven para ilustrar los diferentes impactos que los intereses personales ejercen en la investigación científica. Aun cuando los equipos de laboratorio revelen fenómenos invisibles, los investigadores médicos no los interpretan necesariamente con objetividad clínica.

El descubrimiento accidental de la penicilina se ha convertido en uno de los mitos más eficaces de la medicina moderna. El argumento es como sigue: «Alexander Fleming, un científico escocés, observó que el moho había destruido uno de sus cultivos bacterianos; dándose cuenta inmediatamente de la transcendencia de este hecho casual, Fleming desarrolló la penicilina, una

nueva y poderosa sustancia que revolucionó el tratamiento de las enfermedades». A los chovinistas británicos les encantaba esta versión de los acontecimientos y, durante la guerra, la modesta iniciativa de Fleming para atrapar una oportunidad inesperada vino a simbolizar el coraje de los independientes isleños. Para los historiadores interesados en la precisión, en cambio, este relato cojea, ya que pasa por alto numerosos aspectos mucho menos glamourosos de lo que realmente sucedió: la omisión de Fleming de informar de sus procedimientos experimentales, un espacio de tiempo de quince años en el que apenas mencionó la penicilina, las cuidadosas investigaciones de un equipo de Oxford (sin Fleming) y la abundante inversión financiera procedente de fabricantes norteamericanos.

El pasado de la vitamina B12 es también complicado. Antes de que la tecnología se incorporase a la medicina, las mujeres jóvenes con aspecto pálido y apático solían ser diagnosticadas por sus médicos con una enfermedad denominada clorosis. Las supuestas causas variaban: virginidad, corsés, exceso de libertad, defecto de libertad… Porque la clorosis no solo se caracterizaba por sus síntomas, sino también por la opinión pública sobre el comportamiento correcto de las mujeres. Las curas solían implicar ajustarse a unas ciertas expectativas y adoptar un estilo de vida distinto; en otras palabras, lo que parecían prescripciones médicas eran en realidad mandamientos morales. A las pacientes de clorosis se las responsabilizaba de haber adquirido esa enfermedad, de forma similar a las personas que sufren de diabetes de aparición tardía, a las que, en vez de percibirlas como víctimas indefensas de una dolencia hereditaria, se las juzga culpables de ingerir los alimentos inadecuados y ser así los agentes provocadores de su mala salud.

A principios del siglo XX, la clorosis prácticamente desapareció, pero no porque los síntomas dejasen de existir, sino porque los investigadores de los laboratorios se habían pasado a la sangre como medio favorito para efectuar diagnósticos. En primer lugar vino la anemia por deficiencia de hierro, confirmada en el microscopio pero también identificada como una enfermedad de mujeres. La anemia, a diferencia de la clorosis, se representaba como una carga inevitable, una de las diversas «dolencias femeninas» a las que las mujeres con exceso de trabajo y que luchaban por ganarse la vida y cuidar de la familia tenían, injustamente, que enfrentarse. Las compañías farmacéuticas recibieron con los brazos abiertos el enfoque químico a una enfermedad femenina y lanzaron al mercado un batiburrillo de tónicos y píldoras de hierro dirigidos al público femenino. Los médicos, en cambio, no estaban en absoluto satisfechos de que unos técnicos que

utilizaban elementos invisibles para diagnosticar una enfermedad que anteriormente no existía viniesen a usurpar sus funciones. La contienda se intensificó después de que los expertos de laboratorio identificasen una nueva enfermedad: la anemia perniciosa, menos común y de efectos fatales, y que afectaba tanto a hombres como a mujeres. Los farmacéuticos obtuvieron grandes beneficios de la venta de extracto de hígado, que parecía funcionar —pero solo a veces—, y los médicos se resistían a prescribir productos comerciales de eficacia cuestionable para una enfermedad diagnosticada fuera de su territorio. Aunque se acabó identificando la vitamina B12 como la sustancia culpable, su descubrimiento estuvo marcado por ideas preconcebidas de género y enconados conflictos entre grupos médicos con intereses encontrados. Prejuicios similares, pero de índole étnica, rodearon la identificación en el laboratorio de la anemia falciforme, que adquirió la reputación de ser una enfermedad de la «sangre negra».

Durante el siglo XX, el arsenal cada vez mayor de drogas químicas reflejaba un cambio de actitud hacia la salud. En lugar de contemplar la posibilidad de padecer enfermedades crónicas, las personas empezaron a esperar y exigir vidas más largas y sanas. Los médicos adquirieron un papel sin precedentes: su objetivo era conservar el bienestar de sus pacientes, no ayudarlos a morir cómodamente. Como parte de esta nueva misión, durante la década de 1960 se llevó a cabo un masivo ensayo clínico sobre una población sana al comercializarse las primeras píldoras anticonceptivas sin apenas pruebas previas. Las mujeres ricas de Europa y Estados Unidos agradecieron esta innovación, pero se convirtieron sin saberlo en sujetos experimentales de un programa de ensayo global.

Las hormonas habían supuesto una gran fuente de beneficios desde la década de 1920, cuando algunas de las empresas farmacéuticas que vendían insulina empezaron también a comercializar hormonas sexuales. Desde el principio, el éxito comercial de las hormonas sexuales femeninas fue muy superior al de las masculinas. Durante siglos, las mujeres habían sido definidas en términos de sus sistemas reproductivos, y sus problemas, tanto emocionales como físicos, se habían atribuido a su útero. Al principio de la era de la medicina de laboratorio, la anemia se apropió de una parte de esta culpa. Luego, los químicos desarrollaron una explicación aún más ingeniosa para el comportamiento de las mujeres: sus hormonas, a las que se culpaba de afectar a todos los aspectos de su mente y cuerpo. En la década de 1930, los fabricantes de hormonas sexuales alardeaban de poder tratar con éxito

«prácticamente todas las enfermedades que afligen especialmente a las mujeres»[106].

Y sin embargo, aunque la terapia con hormonas sexuales se convirtió en una especie de panacea cuasiuniversal, tuvieron que pasar otros veinte años antes de que se utilizase para la contracepción o, para utilizar los términos empleados en su primera promoción, para el control reproductivo. *Control* era la palabra clave. La financiación e inspiración inicial para la píldora contraceptiva no procedió del gobierno ni de la industria química, sino de Margaret Sanger, una feminista americana que pretendía ofrecer a las mujeres la posibilidad de controlar sus propias vidas. A pesar de la enorme oposición a la que tuvo que enfrentarse, finalmente su campaña tuvo éxito, cosechando el apoyo de los partidarios de la eugenesia y de la planificación de la población, que intentaban mejorar la sociedad y reducir los índices de natalidad.

Aunque en aquel momento se consideró aceptable, el programa de ensayo estaba lejos de cumplir los estándares modernos y puede incluso parecer ridículo. Para evitar el antagonismo moral y legal contra la anticoncepción, los experimentos se llevaban a cabo de forma clandestina, con el pretexto de problemas ginecológicos. Al principio, los médicos probaron las hormonas sexuales en mujeres que estaban recibiendo tratamientos por infertilidad, y luego efectuaron un ensayo infructuoso en un hospital mental, en el que los sujetos masculinos se quejaron de que el tamaño de sus testículos se estaba reduciendo. El proyecto se trasladó después a Puerto Rico, que se convirtió a todos los efectos en una isla laboratorio, hasta que muchas mujeres dejaron el ensayo, decepcionadas por los frecuentes exámenes físicos y los extenuantes efectos secundarios. Preocupados por el pequeño tamaño de la muestra, los investigadores decidieron ser creativos; informando de los resultados por ciclos menstruales en lugar de por mujeres individuales, incrementaron de forma espectacular el tamaño aparente de su base de datos.

Aunque, según los estándares actuales, los ensayos pueden parecer poco rigurosos, en 1957 la píldora se aprobó en los Estados Unidos, aunque camuflada como tratamiento para desórdenes menstruales. Todo el mundo sabía lo que eso significaba. Dos años más tarde, medio millón de mujeres norteamericanas estaban utilizando la píldora como método anticonceptivo, y la demanda se extendía con rapidez entre aquellas con los recursos suficientes para podérsela permitir. Al fin, el fármaco se estaba probando a gran escala, si bien los conejos de Indias eran involuntarios. Para garantizar la efectividad de la píldora al principio se recetaban dosis masivas, que conllevaron la

aparición de diversos tipos de efectos secundarios. Aunque los investigadores utilizaron estos hallazgos para cambiar la formulación, algunas de las primeras usuarias sufrieron efectos graves e incluso llegaron a morir, espoleando las protestas feministas sobre la manipulación de una jerarquía médica opresiva. Aun así, las ventajas parecían ser claras y, medio siglo más tarde, más de setenta millones de mujeres ingerían con gratitud una píldora al día.

Por primera vez, los médicos recetaban medicamentos para los sanos, no para los enfermos, y en grandes cantidades. Esto diferenciaba esencialmente la píldora anticonceptiva de los tratamientos hormonales destinados a compensar los problemas de funcionamiento de los órganos. La insulina, por ejemplo, remedia la diabetes al compensar la incapacidad del páncreas de un paciente para producirla de forma natural, mientras que la píldora es más bien una droga de diseño que se consume por comodidad, no por necesidad. Igual que la insulina salva vidas, se han desarrollado otros medicamentos hormonales para mejorarla, como los que aceleran el crecimiento o reducen las manchas.

No es difícil pasar de la terapia médica a la mejora cosmética. Visto de este modo, el ajuste hormonal representa una tercera forma de eugenesia que no es positiva ni negativa, sino que promete mejorar la población convirtiendo a los individuos en ejemplares deseables ajustados a la norma. La posibilidad de que una persona haga realidad sus sueños mediante el consumo de sustancias depende de dónde viva y de lo rica que sea. Y también depende del género. Para la píldora femenina tuvieron que pasar cuarenta años entre la inspiración inicial y su modesto lanzamiento. En cambio, en la década de 1990, la Viagra pasó como una exhalación por los comités de examen en unos meses, impulsada por las empresas farmacéuticas y su agresiva comercialización.

7 - Incertidumbres

No es que no sepan ver la solución. Es que no saben ver el problema.

G. K. Chesterton, *El escándalo del padre Brown* (1935)

A Albert Einstein le encantaba la publicidad: jugaba con los medios de comunicación negándose ostensiblemente a usar calcetines y acuñando suficientes citas para llenar un diccionario. En una singular ocasión, cayó en el silencio cuando, durante una cena, alguien le preguntó si la teoría de la relatividad, el psicoanálisis de Freud y la Liga de Naciones estaban relacionados entre sí como productos de una era revolucionaria. Finalmente respondió que sí, que la física, la psicología y la política estaban interrelacionadas como aspectos diferentes de las agitaciones intelectuales y sociales contemporáneas.

Desde aquel momento, Freud y Einstein son citados con frecuencia juntos como los dos científicos más importantes de su época. Ambos manifestaron la importancia de su identidad judía, y ambos quedaron sumamente afectados por la incertidumbre del siglo XX, tan distinta de la seguridad política y la convicción científica que les habían visto nacer. En la década de 1920, cuando muchos alemanes predecían el colapso económico y la desintegración social, los físicos desterraron la certidumbre del mundo subatómico, declarando la imposibilidad de predecir los eventos con un 100 por 100 de fiabilidad. En su nueva mecánica cuántica solo se podía hablar de posibilidades; el conocimiento se restringía al reino de la probabilidad.

Einstein nunca aceptó que estas leyes representasen una descripción definitiva de la realidad en lugar de ser meras herramientas matemáticas útiles. En su cita más famosa, rechazaba la incertidumbre física al declarar que «Dios no juega a los dados con el mundo». Einstein era también un pacifista convencido que buscaba la estabilidad política. En su búsqueda de la paz mundial, en 1932 Einstein miró hacia otro judío famoso que vivía en la Europa germánica: Sigmund Freud. El pronóstico de Freud fue sombrío, y lo

expresó con el vocabulario que empleaba para describir las batallas psicológicas que se libraban en el interior de la cabeza de las personas: «no es en absoluto probable», escribió, «que podamos suprimir las tendencias agresivas de la humanidad»[107]. Einstein quedó horrorizado cuando Freud sugirió que quizá se pudiera evitar la guerra haciendo hincapié en sus terroríficas consecuencias. Y sin embargo, al cabo de siete años, Einstein había firmado una carta urgiendo al presidente de Estados Unidos a adelantarse a los alemanes para construir una bomba atómica, y ambos habían emigrado para evitar la persecución de los nazis.

Para hallar la paz en su propia vida, Freud optó por el matrimonio y los hijos, abandonando su investigación de laboratorio sobre la estructura y el funcionamiento del cerebro e iniciando un lucrativo negocio como médico privado especializado en desórdenes nerviosos. Freud, un hombre de familia tradicional, gobernaba a su esposa y a sus pacientes, a sus hijos y a sus seguidores, con el mismo paternalismo y autoridad. La influencia de Freud ha sido inmensa. Sin embargo, aunque él se consideraba un científico en busca de leyes universales que regulasen la psicología humana, sus críticos sostienen de forma categórica que se le debe excluir de cualquier lista de científicos ilustres. Los sentimientos se crispan en ambos bandos de esta «guerra de Freud», y no es fácil hallar relatos imparciales de su vida y de su obra.

Freud era un científico médico perfectamente cualificado y destinado a una carrera convencional, pero dejó de lado la investigación de laboratorio habitual cuando, en 1886, convirtió su consulta vienesa en un nuevo tipo de laboratorio dedicado a establecer la primera ciencia de la mente. Renunciando a sus antiguos métodos de examinar cerebros muertos con escalpelos y sustancias químicas, Freud empezó a explorar las psiques de personas vivas con instrumentos mentales inventados por él mismo, como el análisis de los sueños y la libre asociación de ideas. Estas técnica cuasianatómicas demostraron ser eficaces, trazando un mapa del subconsciente mediante la revelación de puntos de resistencia cuando el paciente —el sujeto experimental— se sentía incómodo; estas puntas de iceberg psicológicas indicaban los lugares en los que Freud debía sondear en mayor profundidad.

El siguiente paso fue construir dos tipos de teoría interdependientes, una metapsicológica y otra terapéutica. Mediante la recopilación de numerosas observaciones obtenidas de sus pacientes y también de sí mismo, Freud desarrolló su modelo de psique dinámica impulsada por fuerzas conscientes e inconscientes; en las mentes freudianas, los instintos primarios del sexo y la

destrucción luchan constantemente contra fuerzas racionales represivas que intentan imponer orden. Las técnicas psicoanalíticas, concluyó Freud, curan mediante la exposición de estos conflictos ocultos, lo que alivia las alteraciones físicas, que son las manifestaciones de este insospechado conflicto interior.

Freud cambió la forma en que las personas piensan sobre sí mismas. Al hacer hincapié en la importancia de los deseos y sucesos de la infancia e incorporarlos en una teoría científica del desarrollo, Freud desafió las creencias tradicionales que decían que los seres humanos nacen con una personalidad predeterminada. También acabó con la unidad de la psique del individuo, estableciendo un modelo basado en la ambivalencia en el que los recuerdos ocultos, los deseos y los sentimientos de culpa tienen como consecuencia comportamientos contradictorios y emociones en conflicto. Para los seguidores de Freud, la sexualidad se ha convertido en un componente fundamental de la vida, esencial para la configuración psicológica no solo de los adultos, sino también de los niños.

Aunque Freud es tan famoso como Einstein, el escepticismo sobre sus ideas no es ahora menos enconado de lo que lo era mientras vivía. Uno de sus más feroces opositores fue el filósofo Karl Popper, que denunció el psicoanálisis como una pseudociencia. Aunque era unos cincuenta años más joven, Popper se parece a Freud en muchos sentidos. Ambos eran intelectuales judíos de Viena que se vieron forzados a emigrar durante el régimen nazi, y ambos buscaban leyes universales, uno para definir la ciencia, el otro para describir la mente. Sin embargo, para Popper, los psicoanalistas estaban tan alejados de la ciencia como los astrólogos, porque es imposible refutar sus conclusiones. Los buenos científicos, afirmaba Popper, buscan constantemente poner a prueba sus teorías, mientras que los pseudocientíficos únicamente intentan confirmarlas.

Popper fue el filósofo de la ciencia más importante del siglo XX. Después de oír la conferencia de Einstein sobre relatividad general en 1919, declaró que se podía trazar una línea clara entre la verdadera ciencia y la no ciencia. Según Popper, cualquier hipótesis digna de ser llamada científica debe ser susceptible de refutarse. Einstein pasa la prueba de Popper porque las medidas de la expedición del eclipse refutaron la teoría de Newton, mientras que los psicoanalistas no la pasan porque carecen de criterios objetivos para decidir entre explicaciones alternativas. Freud afirmaba que, cuando un niño llamado Hans soñaba con un caballo, estaba expresando miedos sexuales

acerca de su padre; sin embargo, ¿por qué es esa explicación más verosímil que esta: Hans se había asustado de un caballo de verdad en la calle?

Por otra parte, proseguía Popper, no es posible demostrar que una teoría científica es definitivamente correcta. No hay forma de estar completamente seguros de que el Sol saldrá mañana; podría existir alguna especie de superley desconocida que estableciera que precisamente mañana el Sol parecerá estar inmóvil. En principio, todas las teorías sobre regularidad cósmica podrían tirarse por la ventana si un día el Sol no saliese. Y, si algún experimento futuro no se ajustase a las predicciones de Einstein, la relatividad general caería también. Podría parecer que Popper estuviera minando el edificio de la certidumbre científica; sin embargo, él estaba convencido de que el conocimiento científico es un tipo especial de conocimiento. Aunque los científicos no siempre agradecen los comentarios de personas ajenas sobre sus actividades, recibieron con los brazos abiertos la visión de Popper, en la que los experimentos se utilizaban para distinguir implacablemente entre cierto y falso.

Entre los opuestos a Freud, las mujeres se han dejado oír con particular intensidad. Irónicamente, esta persona enérgica y autoritaria aceptaba de buen grado discípulas femeninas, quizá pensando (erróneamente) que serían más serviles que sus rebeldes colegas hombres. Al principio, a las feministas les cautivó el reconocimiento sin precedentes que Freud realizaba de la sexualidad femenina, pero pronto empezaron a criticar su perspectiva centrada en el macho, afirmando que dejaba de lado el papel vital de crianza llevado a cabo por las madres y que se había inventado el concepto de envidia del pene. Freud solía tratar a sus pacientes como testigos no fiables, y prefería sus propias interpretaciones a las de las personas a las que trataba. Durante el desarrollo de sus teorías, pasó por un punto clave cuando decidió rechazar los testimonios de abusos sexuales infantiles ofrecidos por las mujeres. En una reacción que sus críticos califican de ofensivamente condescendiente, Freud afirmó que estas mujeres se engañaban a sí mismas, atrapadas por fantasías de seducción hacia sus padres.

Para otros críticos, la objeción más seria se deriva de sus afirmaciones terapéuticas. Sea lo que sea lo que prometa el psicoanálisis, sus practicantes no pueden proporcionar prueba experimental alguna de que su tratamiento sea más eficaz que el paso del tiempo, los fármacos u otras terapias; con demasiada frecuencia, manifiestan los críticos, el mayor beneficiario de la terapia es la cuenta corriente del analista. En todo caso, aunque Freud tuviese razón acerca de su propia familia y sus pacientes, ¿es razonable generalizar a

partir de un grupo pequeño, compuesto principalmente por judíos vieneses ricos, a toda la humanidad?

Freud reunió en su entorno a un grupo de fieles discípulos para propagar el evangelio del psicoanálisis. Aunque algunos de ellos desertaron y crearon sus propias sectas, lograron hacer célebre a Freud en Estados Unidos y en Europa, aunque no en Gran Bretaña, donde el énfasis de Freud en la sexualidad hacía que sus teorías fuesen completamente inaceptables. Sin embargo, después del estallido de la primera guerra mundial, los médicos militares británicos crearon una versión aséptica de las doctrinas de Freud que las hizo admisibles. Los soldados regresaban del frente con síntomas que nadie sabía explicar. Aunque sus cuerpos parecían intactos, no funcionaban con normalidad. Después de inventarse el impreciso diagnóstico de *shell shock* (choque del proyectil), los médicos empezaron a buscar causas orgánicas para estos desconcertantes casos: ceguera, parálisis, pérdida de memoria. Pronto se vio que este enfoque físico no conducía a ningún lado, por lo que decidieron que sus pacientes sufrían de histeria. Se trataba de una conclusión polémica, porque la histeria (cuyo nombre procede de una palabra griega que significa «útero») siempre se había desdeñado como una enfermedad de mujeres. Para comprender lo que sucedía, los psiquiatras adaptaron a Freud. Restando importancia a los aspectos sexuales que tan desagradables hallaban, conservaron sus teorías de represión para explicar cómo los sentimientos de terror y de asco experimentados en el campo de batalla eran apartados primero hacia el subconsciente para, más adelante, emerger en forma de síntomas físicos.

El psicoanálisis recibió un nuevo impulso durante la segunda guerra mundial, en especial en Estados Unidos. Esta vez, los consejeros médicos ya estaban preparados y reclutaron a un pequeño ejército de psiquiatras que espoleaban la moral de los heridos mediante programas de propaganda para poder enviarlos de nuevo con rapidez al campo de batalla. Desde entonces, la medicina psiquiátrica se ha convertido en un enfoque estándar, no solo para mejorar la eficiencia en el sector militar, sino también la productividad industrial y el bienestar del individuo. Como predicadores de una nueva fe secular, los psicólogos comercializan programas de autoexamen con el objetivo de estimular la conciencia de uno mismo y la superación interior.

A pesar de todas las críticas lanzadas contra él, la influencia de Freud ha sido —y sigue siendo— colosal. Sean las que sean las limitaciones de su modelo mental, Freud hizo posible pensar sobre mentes y cuerpos, familias y sexualidad, salud y enfermedad, de formas totalmente novedosas; en

particular, sacó a la luz los impulsos inconscientes y la sexualidad infantil. Pero, incluso aunque sus teorías sean acientíficas, ¿es esto una buena razón para rechazarlas? Quizá la ciencia no sea el único camino hacia el progreso. Para alguien cuya prioridad sea la comprensión de las relaciones personales, ya sea en la realidad o en la literatura, la contribución de Freud a la civilización es superior a la de Einstein. Quizá su terapia no sea una panacea universal, pero ha animado a las personas a reflexionar sobre sí mismas y sobre sus vidas, quizá para hacerlas mejores.

Freud y Einstein se han convertido en símbolos del libre pensamiento moderno, iconoclastas que derribaron el anticuado sentido común. Nacidos en la certidumbre, siguieron los pasos de sus predecesores del siglo XIX en busca de leyes universales que imprimiesen orden en el cosmos. Hasta cierto punto, ambos se distanciaron de las consecuencias de sus propias innovaciones. Así como Freud era partidario de un enfoque autoritario y directo y renegó de los discípulos que desarrollaron sus teorías en nuevas direcciones, también Einstein se negó a aceptar por completo las incertidumbres de la mecánica cuántica y se disoció de las conclusiones alcanzadas por físicos que se habían inspirado en sus trabajos. Freud trataba con mentes humanas y Einstein, con el cosmos y las partículas subatómicas, pero ambos compartían una preferencia clásica por leyes deterministas que permitiesen utilizar el pasado para predecir el futuro.

Aun después de la introducción del cálculo de probabilidades en la física, durante el siglo XIX, el determinismo se conservó. A pesar de que los comportamientos promedio se calculaban estadísticamente, seguía vigente el principio fundamental de que —al menos en teoría, si no en la práctica— era posible predecir el recorrido de cada partícula. En la década de 1920, un pequeño grupo de disidentes adoptó la postura radicalmente distinta de que era imposible, en un nivel esencial, saberlo todo. Aún con los más precisos instrumentos imaginables, las medidas en el nivel microscópico son intrínsecamente borrosas, no por imprecisas, sino porque es imposible llevarlas a cabo. Este perturbador concepto fue expresado por el físico alemán Werner Heisenberg en su famoso Principio de Incertidumbre. Si se conoce la posición de una partícula, declaraba Heisenberg, no es posible asegurar con qué rapidez se mueve; si se mide su velocidad (o, más exactamente, su momento), entonces no hay forma de precisar su ubicación; la certidumbre se escurre entre los dedos.

En el reino subatómico de la mecánica cuántica, nada se sabe *a priori* con certeza; solo existen las probabilidades. Influido por una escuela de

pensamiento filosófico que se remontaba a Goethe y los *Naturphilosophen*, Bohr sostenía que los físicos forman parte del sistema que están observando. Es decir, la observación imparcial es inherentemente imposible, porque cada vez que los científicos intentan efectuar una medición, su propia presencia la altera. Al intervenir en una situación, precipitan un resultado determinado que, *a priori*, era solo una de entre diversas posibilidades. Cuando los físicos observan un haz de luz en particular, los instrumentos que utilizan influyen en lo que ven; la forma en la que registran la luz determina si esta aparece como ondas o como partículas. En lugar de pensar en la luz como una onda o como un flujo de partículas, Bohr afirmaba que la luz se comporta *de las dos formas*.

Puede dar la impresión de ser un comportamiento antiintuitivo e increíble (como opinaba Einstein), pero parece que es cierto. La principal confrontación entre Einstein y Bohr tuvo lugar en 1927, en una gran conferencia celebrada en Bruselas, Como ilustra la Figura 49**[f49]**, a ella asistieron los físicos más importantes del mundo. Los más identificables son Marie Curie y Albert Einstein, sentados en la primera fila a poca distancia. A Heisenberg, situado en la fila posterior, hacia la derecha, no se le reconoce tan fácilmente. Está de pie junto a su mayor aliado y rival de Einstein: Niels Bohr, el «Gran Danés» del laboratorio Cavendish, que está sentado junto a su colega, el alemán Max Born. En aquella época, Bohr había vuelto a Dinamarca, donde había establecido su propia Escuela de Física de Copenhague, en la que se unían sus ideas con las de Heisenberg, Born y otros.

Cuando Bohr llegó a la conferencia Solvay, confiaba en que Einstein aceptaría su última interpretación de la mecánica cuántica, la interpretación de Copenhague. Se equivocaba. Cada mañana, durante el desayuno, Einstein planteaba una nueva objeción; a la hora de la cena, Bohr siempre había hallado la forma de refutarla. En lugar de llevar a cabo experimentos reales, Einstein creaba experimentos imaginarios que, en su opinión, conducirían a una mayor seguridad que el modelo de Bohr, con su incertidumbre incorporada. Pero Bohr localizaba cada vez un pequeño detalle que Einstein había olvidado incluir. Esta batalla de experimentos mentales se prolongó durante años, hasta que Bohr acabó derrotando a Einstein al demostrar que este había olvidado tener en cuenta su propia relatividad general. Sin embargo, Einstein pasó el resto de su vida buscando infructuosamente leyes de certidumbre que otorgasen belleza matemática al Universo.

Las inquietantes ideas de la mecánica cuántica se desarrollaron durante los años de entreguerras, cuando los propios físicos vivían en la incertidumbre

y la ciencia se desarrollaba con propósitos militares. Existen fotografías parecidas de numerosas conferencias internacionales; no obstante, aunque ofrecen una prueba tangible de las reuniones, no revelan signo alguno de que los científicos judíos pronto se verían dispersados a causa del régimen de Hitler. Einstein emigró a Estados Unidos, Born fue a Cambridge y Bohr huyó a Suecia en un barco de pesca antes de recalar, como Freud, en Inglaterra. Quizá algunos de ellos reflexionasen posteriormente sobre este retrato en el que posaban con cierta formalidad, una isla de certidumbre en un mundo enturbiado por la confusión y la falsedad.

Heisenberg, que no era judío, permaneció en Alemania, lo que finalmente resultó no ser una buena idea. La física «judía» de Einstein había sido prohibida oficialmente en el régimen nazi, y Heisenberg fue atacado por negarse a condenarla. También fue criticado desde el exterior por aceptar la dirección del programa alemán de investigación atómica, lo que constituye una nueva incertidumbre. Heisenberg sostenía que, desde esa posición clave, podía impedir que Hitler se hiciera con una bomba. No todos le creyeron.

Decisiones

Durante el siglo XX, la financiación de los proyectos de investigación científica cayó cada vez más en las manos de gobiernos y organizaciones empresariales. Al mismo tiempo, su escala aumentó de forma espectacular y empezaron a parecerse a instalaciones industriales. La primera de estas iniciativas de «Gran Ciencia» de estilo fábrica empleaba a físicos, y estaba centrada en investigación atómica, material bélico y viajes espaciales. Sin embargo, después de la decodificación de la doble hélice del ADN, las ciencias de la vida empezaron a recibir gran cantidad de dinero, y la genética se convirtió en un gran negocio internacional. Estas tremendas inversiones en ciencia, tecnología y medicina han resultado excepcionalmente rentables. En comparación con los babilonios del principio de este libro, los científicos modernos saben muchísimo más, no solo sobre la estructura del Universo, sino también sobre el funcionamiento de los organismos vivos. Sin embargo, siguen siendo incapaces de dar respuesta a algunas de las cuestiones básicas acerca de la existencia humana planteadas hace milenios. Los logros científicos más célebres tienen, como el dios Jano, varios rostros. La descomposición del núcleo atómico liberó una energía nunca antes explotada, pero lo hizo tanto en forma de generadores como de bombas. La introducción de los pesticidas químicos mejoró la producción de las cosechas y redujo el hambre, pero a cambio diezmó las cadenas tróficas naturales. Hoy más que nunca, muchas personas llevan vidas más sanas y cómodas, pero la población

mundial se multiplica y el calentamiento global amenaza el planeta. El aprovechamiento de los descubrimientos científicos implica la toma de decisiones políticas acerca de su uso.

1 - Guerra

> Hay que comprender que la tinta es la gran arma en las batallas de los ilustrados, y que, transportada en una especie de ingenio llamado pluma, se asaetea al enemigo con un número infinito de estas por parte de los valientes de cada bando, con igual destreza y violencia, como si se tratase de una contienda entre puercoespines.
>
> Jonathan Swift, *Un relato completo y verdadero de la batalla del viernes pasado entre los libros antiguos y los modernos en la biblioteca de St. James* (1704)

En su campaña para impedir el estallido de la segunda guerra mundial, Einstein se unió a su amigo, el filósofo matemático británico Bertrand Russell. Russell, que era un pacifista más beligerante que Einstein, había cumplido un par de condenas en prisión, organizaba sentadas de protesta y reclutó la ayuda de Einstein para la organización de un grupo de presión internacional de científicos dedicado a la paz. Durante la primera mitad del siglo XX, Einstein y Russell fueron testigos de la fusión entre ciencia, gobierno e industria. Nacidos ambos en la década de 1870, vivieron la primera guerra mundial —la guerra de los químicos, por los gases venenosos y los explosivos— y la segunda —la de los físicos, con el radar, los ordenadores y las bombas—. La ciencia se afianzó en el núcleo de las decisiones políticas, una relación de simbiosis que se ilustra en la Figura 50**[f50]**, en la que aparece el físico teórico Robert Oppenheimer comentando una explosión experimental con su jefe militar, el general Leslie Groves, organizador del programa de la bomba atómica norteamericana. Las dos bombas atómicas que devastaron Japón cristalizaron en una creciente sensación de decepción. Como observaba Russell, «El cambio es una cosa; el progreso, otra. El cambio es científico; el progreso, ético. El cambio es indudable; el progreso es controvertido»**[108]**.

Quizá la guerra fuese un paso atrás desde el punto de vista ético, pero aceleró el crecimiento de la Gran Ciencia que caracterizó al siglo XX. Pensar en grande no era una novedad fundamental: los astrónomos chinos e islámicos habían construido observatorios, los cristianos europeos, catedrales, y los industriales victorianos, fábricas. La Gran Ciencia surgida en la primera mitad

del siglo XX no solo era distinta por su tamaño, sino también por sus estrechas relaciones con el estado y con las grandes organizaciones comerciales. Los cinco factores que la impulsaban eran el dinero, los recursos humanos, las máquinas, el ejército y los medios de comunicación.

La conjunción de estos cinco factores supuso la consolidación de la Gran Ciencia. A medida que los gobiernos reconocían el valor de la ciencia en las políticas de defensa, empezaron a invertir grandes sumas de dinero y gran cantidad de personal en la construcción de máquinas para proyectos militares. Por ejemplo, durante la primera guerra mundial, Winston Churchill introdujo en el Almirantazgo Británico a Chaim Weizmann, un bioquímico que había huido de Rusia en una balsa de troncos. En respuesta a una circular del Ministerio de la Guerra en la que se solicitaban descubrimientos útiles, Weizmann declaró que era capaz de producir acetona, un componente vital para la fabricación de munición. «Bien», dijo Churchill, «necesitamos treinta mil toneladas de acetona. ¿Puede fabricarlas?»[109]. En un laboratorio montado en una fábrica de ginebra, Weizmann amplió sus procesos químicos de pequeña escala para la producción en masa, hasta llegar a supervisar seis destilerías reconvertidas y una campaña nacional para la recogida de castañas para su uso como materia prima.

La colaboración entre científicos y políticos era recíproca. Weizmann, sionista convencido, negoció con los británicos la promesa de estos de apoyar el establecimiento de una patria judía en Palestina como pago a sus servicios. Otros científicos británicos aprovecharon también la ventajosa posición negociadora que esta demanda sin precedentes les otorgaba para estipular sus propios requisitos, como implicarse en la planificación y recibir fondos del estado para investigación. En otros países hubo cambios similares desde principio de siglo y, en la época de la segunda guerra mundial, los intereses científicos, políticos, industriales y militares estaban ya inextricablemente unidos.

El quinto factor —los medios de comunicación— también contribuyó al crecimiento de la ciencia. Cuando la expedición del eclipse llegó a los titulares en 1919, Einstein se convirtió en una celebridad internacional de la noche a la mañana; asímismo, los dramáticos relatos sobre los experimentos atómicos impulsaron a los físicos de altas energías a las primeras posiciones en las listas de espera de financiación. Durante la década de 1930, los medios espolearon una carrera internacional para romper el núcleo atómico y descubrir su estructura. Al principio, los científicos utilizaban fuentes radiactivas naturales que emitían rayos X y neutrones. El paso siguiente

consistió en construir grandes aceleradores para impulsar artificialmente haces de partículas subatómicas hasta que su energía bastase para partir un núcleo.

Los científicos que lograron más dinero para financiar los mayores aceleradores trabajaban en Estados Unidos. De ellos destaca Ernest Lawrence, de la Universidad de Berkeley, California. Lawrence construyó los primeros ciclotrones, máquinas circulares que utilizan campos eléctricos y magnéticos para acelerar las partículas cargadas —como electrones o protones— en un recorrido circular en espiral. Lawrence empezó con un pequeño aparato de sobremesa, pero enseguida empezó a pensar a lo grande y a planificar equipos a una escala sin precedentes. Sus ambiciones se vieron realizadas porque supo persuadir a líderes de empresas —en especial de la floreciente industria eléctrica— de que su financiación resultaría en un provecho mutuo. Con formación de físico, Lawrence se convirtió en un empresario de la ciencia, ya que, de hecho, se dedicaba a la gestión de fábricas que producían partículas de alta energía.

Los experimentos de la Gran Ciencia implicaban a centenares de científicos, ingenieros y técnicos trabajando en cooperación en un proyecto de estilo industrial financiado por patrocinadores externos. Entusiasmado por el éxito, Lawrence empezaba a planificar una máquina nueva y mayor en cuanto el diseño actual estaba en construcción; sus equipos aparecen en fotografías como enanos junto a gigantescos electroimanes y colosales tubos curvados. Por toda Europa y América, los físicos contrataban a expertos que se habían formado con Lawrence para ayudarles en la construcción de sus propios aceleradores. Inspirados por su ejemplo, estas personas recababan la ayuda de gobiernos, empresarios e instituciones médicas para financiar sus propios proyectos de investigación nuclear.

Durante los agitados años anteriores a la segunda guerra mundial, los científicos de laboratorios rivales, —Roma, Berlín, Cambridge—, competían por el primer lugar en la carrera por entender el contenido del núcleo atómico. Una vez iniciada la guerra, las implicaciones de un desconcertante experimento sobre el uranio adquirieron una crucial importancia. Esta investigación se realizó en Munich, aunque uno de los miembros del grupo, la física Lise Meitner, envió sus contribuciones desde Suecia. Como muchos otros científicos judíos, había huido de la persecución nazi; estas emigraciones forzosas afectaron en gran medida a la investigación científica. Meitner rechazó de plano participar en el proyecto de la bomba atómica de Estados Unidos, sin embargo, fue ella la que descubrió la física tras la fisión

nuclear que, finalmente, hizo posible la construcción de la bomba. Para explicar los extraños resultados obtenidos por sus colegas, Meitner concluyó de forma provisional que, cuando un neutrón impacta en el núcleo de un átomo de uranio, este núcleo se divide en dos, liberando una inmensa cantidad de energía y, no menos importante, emitiendo más neutrones. Cuando estos neutrones impactan en átomos cercanos, el proceso se repite, produciendo cada vez más energía y neutrones; el proceso se convierte rápidamente en una reacción en cadena imposible de detener.

En cuanto los científicos se dieron cuenta de la transcendencia del experimento, la colaboración internacional cesó. En las revistas científicas, la repentina ausencia de informes sobre investigación nuclear reveló que los laboratorios de Estados Unidos y Gran Bretaña estaban explorando su potencial militar. ¿Qué sucedía entre tanto en Alemania? Aunque nadie podía asegurarlo, un grupo de emigrantes judíos lograron que Einstein los ayudase a convencer al gobierno norteamericano de que una bomba alemana era una posibilidad muy real. A medida que avanzaba la guerra, esta amenaza se utilizó como una práctica justificación para proseguir las investigaciones, a pesar de que no había pruebas de que Alemania estuviese teniendo éxito. Los físicos británicos también se involucraron, intercambiando sus avanzadas investigaciones sobre fisión por los conocimientos de los norteamericanos acerca de los cinco factores necesarios para sacar adelante un proyecto de Gran Ciencia. Con el patrocinio del estado, los científicos se pusieron manos a la obra para crear destrucción.

Durante la segunda guerra mundial, la financiación científica en Estados Unidos creció de 50 a 500 millones de dólares al año. Una gran parte de estos fondos se invirtieron en el proyecto Manhattan para construir la bomba atómica que, después de que el general Groves (Figura 50) tomara el mando en 1942, funcionó con eficacia militar. El general empezó por establecer una red nacional de industrias, algunas de las cuales del tamaño de pequeñas ciudades, cuya construcción se llevó una buena parte del presupuesto. En ellas se producían elementos radiactivos mediante aceleradores y otros gigantescos dispositivos, operados por miles de trabajadores que ignoraban por completo que estaban contribuyendo a construir una bomba. Gracias a la política de secretismo impuesta por Groves, en 1945 solo unos centenares de personas comprendían plenamente el ámbito del programa de desarrollo. Las ciudades atómicas, creadas en áreas deprimidas, constituían tanto experimentos en planificación social como en física nuclear. Equipadas con centros

comerciales, cines y cocinas con los equipamientos más modernos, sus objetivos militares se hallaban ocultos bajo una norteamericana normalidad.

El ambiente era totalmente distinto en los centros de experimentación como Chicago y Los Álamos; en ellos, científicos atómicos trabajan con una intensidad sin precedentes, sumergidos en un entusiasmo compartido por resolver problemas. Muchos de ellos comentaban más tarde que su actividad en tiempo de guerra había sido el mejor período de su vida, y la pintura de la Figura 51**[f51]** ilustra una idealización de sus experiencias. Con una dramática iluminación, estos físicos esperan expectantes, vestidos formalmente en la moda de la época, y radiando una tensión casi palpable mientras esperan para ver si el descubrimiento de la fisión nuclear efectuado en Munich podía funcionar en una mayor escala. Nada indica aquí el frío y la suciedad, el trabajo a temperaturas bajo cero en una atmósfera cargada de grafito debajo de la tribuna de un estadio de fútbol de Chicago, el dolor de muchos de ellos por los accidentes ocurridos durante el proceso de construcción no planificado.

El hombre al mando, de pie en el palco de este campo de *squash* reconvertido y con una regla de cálculo en la mano, es Enrico Fermi, que logró huir de la Italia fascista. A la derecha, la estructura escalonada de ladrillo es la pila nuclear experimental que contiene material radiactivo; tres jóvenes están sentados sobre ella a modo de escuadrón suicida, listos para rociar la pila con sustancias químicas en caso de que la reacción se descontrole. En el sótano, otro científico opera manualmente una barra de cadmio para controlar el ritmo de la fisión. Tras horas de espera y una imprevista pausa para almorzar, Fermi finalmente ordena que se retire la barra un poco más. Los clics del contador de neutrones se convierten en un rugido, los registradores gráficos se salen de escala y Fermi levanta la mano para detener la prueba y anunciar su éxito.

En esta fecha decisiva, en cierto modo más crucial que Hiroshima, se vio que la construcción de una bomba era posible. Los observadores declararon sentirse hundidos después, tras considerar las desconocidas consecuencias de lo que debía ser supuestamente un triunfo. Enviaron mensajes telefónicos codificados en los que hablaban de Fermi como de un nuevo Colón, el navegante italiano que había llegado a un nuevo mundo y había sido acogido con amabilidad por los nativos. Poco después, Fermi se trasladó a la enclaustrada comunidad de Los Álamos, una ciudad industrial autosuficiente oculta en el desierto de Nuevo México, en la que soldados, científicos e ingenieros colaboraban para resolver un problema práctico pendiente: ¿Cómo

podía empaquetarse con seguridad la fisión nuclear en una bomba transportable?

Para la gestión de Los Álamos Groves fichó a Oppenheimer, un físico teórico sin experiencia organizativa alguna. Aunque parecían ser una pareja imposible, el implacable general adicto al trabajo y el nervioso intelectual con tendencias políticas de izquierdas se convirtieron en excelentes compañeros de trabajo (Figura 50). A base de audaces decisiones, abandonaron los protocolos normales que exigían pruebas piloto y gastaron generosamente para lograr su objetivo. Tras la rendición de Alemania en mayo de 1945, la afirmación original de que la bomba era necesaria como medio de disuasión en Europa perdió toda su validez. Pero, para los implicados en el proyecto, era difícil detenerse tan cerca de la meta. En cualquier caso, los americanos seguían en guerra con Japón; hasta el hijo de cinco años de Fermi había aprendido a cantar «We'll wipe the Japs / Out of the maps»**[110]**. («Barreremos a los japos / de todos los mapas»).

Oppenheimer preparó un ensayo general al que denominó en código *Trinity*, su personal interpretación del concepto cristiano de que la muerte lleva consigo la redención. Como en Chicago, los trabajadores soportaban miserables condiciones de trabajo y sufrían el asfixiante calor del desierto, las afiladas púas de la yuca, los escorpiones y tarántulas, las duchas frías y la caza de antílopes para comer. En julio de 1945, más o menos a la misma hora en que una bomba real se cargaba en un barco de la flota del Pacífico, un dispositivo experimental fue izado hasta la punta de la torre de hierro de la Zona Cero, de 30 metros de altura y con unos cimientos que se hundían seis metros en la tierra. Autobuses llenos de visitantes llegaron para observar la detonación, prevista para las primeras horas de la mañana, pero no estaban preparados para la dimensión de la devastación. Son conocidas las imágenes, fotográficas y verbales, de ardientes soles y nubes en forma de seta. Menos conocidas son las estadísticas: conejos que explotaban a 800 metros, temperaturas de 400 °C a 1500 metros, ceguera temporal a quince kilómetros. Después, el científico y el soldado contemplaron los vaporizados restos de la torre (Figura 50). Oppenheimer recordó el grito de Vishnu en las sagradas escrituras del hinduismo —«Ahora me he convertido en la Muerte, el destructor de mundos»—, pero, según se cuenta, se paseó ufano por allá con su sombrero de vaquero; Groves comentó que la guerra solo concluiría después de lanzar dos bombas sobre Japón.

Tanto Groves como Oppenheimer apoyaron los bombardeos de Hiroshima y Nagasaki el mes siguiente, y sus colegas de Los Alamos no cabían en sí de

júbilo al ver que los años de dedicación habían dado su fruto, que su proyecto había sido un éxito. Esa fue, al menos, la reacción inicial. Tras la publicación de las fotografías y las cifras de muertos, y después de la aparición del envenenamiento por radiación, ya no estaban tan seguros. Como expresó un emigrante alemán, «parecía macabro celebrar la muerte repentina de cien mil personas, por muy enemigos que fueran»[111]. Por cruel que pudiera parecer congratularse de aquella situación, los patriotas creían (y lo siguen creyendo) que el lanzamiento de las bombas había sido la decisión correcta.

De pronto, los físicos se habían convertido en héroes nacionales. Algunos de ellos solicitaron —y lograron— fondos para el desarrollo de armas nucleares más eficientes, que matasen a las personas sin dañar los edificios. Muchos acallaron sus conciencias trabajando en proyectos de investigación en universidades que, aunque financiados por organizaciones militares, no se dedicaban de forma directa a la guerra. Pero otros no querían tener nunca más ninguna relación con la muerte y la radiación y decidieron dedicarse al estudio de la vida.

Su inspiración fue Erwin Schrödinger, un austríaco pionero de la mecánica cuántica que había huido a Dublín durante la guerra. En la Figura 49, la fotografía de la conferencia Solvay de 1927, Schrödinger está de pie en la fila posterior, justo detrás de Einstein (no es una casualidad que el traje de Schrödinger se distinga del resto: su inveterada costumbre de vestir siempre ropas deportivas lo apartó a menudo de ocupar puestos oficiales). Como Einstein, a pesar de ser responsable de importantes ecuaciones matemáticas en las que se describían ondas y partículas, Schrödinger nunca aceptó que las probabilidades representasen respuestas definitivas. En 1945, en un pequeño pero extraordinariamente influyente libro llamado *¿Qué es la vida*?, Schrödinger urgía a los científicos a que buscaran el equivalente biológico de las leyes cuánticas para formular descripciones físicas del crecimiento, la herencia y otros fenómenos inexplicables. En un mundo devastado por la guerra, solo Estados Unidos, Gran Bretaña y Francia se hallaban en posición de financiar investigación, y allí fue donde los físicos emigraron: hacia el dinero y hacia un futuro en biología, la nueva manifestación de la Gran Ciencia.

2 - Herencia

Que las cosas más dulces se agrian por sus actos, y un lirio corrompido huele cual mala hierba.

William Shakespeare, *Soneto 95*

Los periódicos de 1953 pudieron relatar varios momentos transcendentales. En aquel año, los presidentes Tito y Eisenhower llegaron al poder, pero Josef Stalin lo perdió; se relacionó el cáncer de pulmón con el tabaco; la Unión Soviética hizo estallar una bomba de hidrógeno; y dos hombres llegaron a la cima del monte Everest. Cincuenta años después, sin embargo, estas historias que coparon los titulares ya no parecen tan apasionantes. En cambio, se celebró el aniversario de un breve informe aparecido originalmente en las páginas interiores de *Nature*, una revista académica británica. Escrito por dos científicos desconocidos de Cambridge, la conclusión deliberadamente sobria de este artículo fue en aquel momento ignorada por los periodistas en busca de noticias emocionantes. «No nos ha pasado desapercibido», comentaban lacónicamente los dos científicos, «que el emparejamiento específico que hemos postulado sugiere inmediatamente un posible mecanismo de copia del material genético»[112]. Traducido del árido lenguaje científico, Francis Crick y James Watson declaraban que, al haber desentrañado la estructura de las complejas moléculas que forman los genes, habían revelado los secretos de la herencia. Su discreto anuncio en *Nature* simboliza actualmente la nueva era de la biología molecular.

Desde ese momento, la doble hélice del ácido desoxirribonucleico (ADN) se ha transformado en un símbolo cultural. Innumerables artistas han estilizado las torpes estructuras con pinzas y las placas hechas a mano (Figura 52[f52]) para convertirlas en elegantes espirales gemelas que se han reproducido, no solo en los libros de texto de biología, sino también en esculturas, botellas de perfume y brazaletes (por desgracia, los picaportes de las puertas de la Royal Society de Londres en forma de molécula de ADN se instalaron al revés). Como un caduceo (las dos serpientes entrelazadas que simbolizaban la medicina en la Antigüedad) de los tiempos modernos, este

modelo molecular se ha abstraído en una doble hélice que representa el progreso científico en su conjunto: instantáneamente reconocible, aunque no comprendido. Pero también se ha convertido en un emblema al estilo de Frankenstein, utilizado de forma visible en la propaganda contra proyectos de investigación polémicos como la clonación, la modificación genética de cultivos o las armas biológicas.

La conversión del rudimentario modelo de Crick y Watson en un símbolo universal representó un difícil trabajo de publicidad y de autopromoción. Como el propio Crick solía destacar, no fue la pareja de científicos la que creó el modelo, sino el modelo el que los creó a ellos. De los contactos de la Figura 52, Watson seleccionó la segunda foto, que parece capturar al dúo de Cambridge en su momento de triunfo y que se ha convertido en un icono del descubrimiento científico. La tosca estructura con aspecto de mecano y el laboratorio desnudo con su anticuado fregadero indican que esa austeridad de posguerra ha sido superada por la pujante disciplina de la biología molecular. Agitando su regla de cálculo y con parches en los codos, Crick asume el papel del héroe intelectual descuidado, mientras que Watson mira hacia arriba, un joven genio norteamericano admirado ante su maravillosa molécula. Aunque es obvio que no es espontánea, esta fotografía ofrece promesas de miradas privilegiadas en el taller del conocimiento científico.

La cámara nunca miente, pero… la verdad es que el modelo que se presenta era de demostración, y no se utilizó en el descubrimiento en sí; la regla de cálculo de Crick no era más que elemento de *atrezzo* irrelevante y las fotografías se tomaron meses después (incluso se discute sobre la fecha exacta). La fotografía 2 se convirtió en un símbolo pasados quince años, cuando Watson la incluyó en *La doble hélice*, su *thriller* científico acerca de la búsqueda del ADN. En este *best seller*, que fue muy criticado, Watson ensalzaba su propio rol al tiempo que minimizaba la importancia de las aportaciones de un equipo londinense encabezado por Maurice Wilkins y Rosalind Franklin, que habían publicado sus hallazgos en el mismo número de *Nature*. En la Figura 53**[f53]** se muestra una fotografía de rayos X tomada por Franklin pero filtrada por Wilkins, que ofreció a Watson la pista fundamental que necesitaba. En sus propias palabras: «En el mismo momento en que vi la imagen, mi boca se abrió y mi pulso se aceleró»**[113]**.

Esta, y no la del dúo de Cambridge, es la fotografía que debería haberse hecho célebre, porque ofrece sólidas pruebas acerca de la estructura del ADN. Aunque Watson no era un experto, reconoció de inmediato que la forma más prominente en forma de X revelaba una hélice; más adelante se dio cuenta de

que las barras y los diamantes indicaban una espiral doble, no sencilla, con patrones atómicos repetidos a lo largo de toda su longitud. El análisis de las complejidades de esta fotografía implica tomar cuidadosas medidas y efectuar complejos cálculos. Sin embargo, el preestreno ofrecido a Watson le sirvió de inspiración para guiarlo en una dirección concreta.

Watson idealizaba la ciencia como una emocionante y despiadada carrera. Inteligente, aunque impulsivo y vanidoso, se representaba a sí mismo en *La doble hélice* como un displicente americano desconcertado por el pintoresco Cambridge y obsesionado con el sexo y el tenis. Según su propio relato heroico, Watson desafió las instrucciones de su jefe de concentrarse en su propio trabajo para dedicarse a celebrar reuniones clandestinas con Crick, en las que luchaban por resolver el mayor de los enigmas de la ciencia. Aunque sus antecedentes intelectuales eran distintos, —Crick era físico y Watson, biólogo—, compartían el interés por la genética y sus habilidades se complementaban. Para rellenar los huecos, recogían información de artículos e interrogaban a los prestigiosos visitantes que pasaban por Cambridge.

Según el código de Watson, todos los medios eran válidos para alcanzar su objetivo de ser el primero en obtener la respuesta correcta, incluso apropiarse de los resultados de Franklin, a quien menospreciaba calificándola de mujer con pésimo gusto en el vestir, que se negaba a usar lápiz de labios y que se había inmiscuido en un mundo de hombres. Como Watson, Franklin se veía a sí misma como una intrusa, incómoda en la atmósfera de un laboratorio británico después de disfrutar de un período de investigación en París. A Franklin, a quien habían hecho creer que encabezaba su propio proyecto, le molestaban las interferencias externas, y trabajaba sola para protegerse de la discriminación. A diferencia del enfoque de ensayo y error de Watson, su procedimiento era metódico, investigando sistemáticamente las moléculas que aislaba. Mientras que Crick y Watson construían modelos de prueba como herramientas de investigación, para Franklin cumplían el papel secundario de visualización de estructuras que ya había deducido de forma analítica.

El azar unió a Crick, un estudiante de doctorado de treinta y tantos años que llevaba tiempo dando tumbos, con Watson, un investigador de posdoctorado mucho más joven en busca de un tema de trabajo. Para entonces, científicos de todo el mundo habían llegado a la conclusión de que la información genética no se transporta en las proteínas, como se había creído hasta no hacía mucho, sino en los ácidos nucleicos, intrincadas cadenas de moléculas enlazadas en estructuras aún más complejas. Atraídos por la emoción de la caza, Crick y Watson decidieron enfocar sus esfuerzos en uno

de esos ácidos: el ADN. Resultó ser una opción afortunada, porque aún no estaba claro que el ADN fuese la sustancia clave. A diferencia de lo que ocurre en las sustancias inertes, las células vivas contienen cadenas de unidades químicas organizadas en un orden definido. Y lo que es fundamental: este orden está determinado genéticamente, por lo que en algún lugar debe existir un código, un conjunto de instrucciones, que determina el orden de las unidades. Visto en retrospectiva, esta necesidad de un código puede parecer un súbito rapto de inspiración. En realidad, como muchos de los conceptos de la ciencia, surgió como resultado de innumerables y meticulosos proyectos de investigación.

Aprovechando los descubrimientos de otros laboratorios, Crick y Watson combinaron tres puntos de vista distintos ya existentes. Algunos grupos de investigación se concentraban en explorar la estructura física de las moléculas complejas, mientras que otros las examinaban desde una perspectiva química. Además, algunos científicos, inspirados por ¿*Qué es la vida*? de Schrödinger, abogaban por un enfoque totalmente distinto al enigma de la vida: creían que, igual que la mecánica cuántica se había desarrollado para hacer frente a las incertidumbres del mundo subatómico, era necesario efectuar un salto de imaginación similar para explicar los misterios de la herencia. Para ellos, la clave para comprender la herencia era la información: ¿cómo pasan las células vivas características de una generación a la siguiente?

La elección del organismo adecuado para estudiar es esencial en biología. A principios del siglo XX, los científicos habían investigado los genes de las moscas de la fruta (*Drosophila*, Figura 46), pero la generación posterior eligió organismos mucho más simples: los *fagos*, pequeños virus consistentes en una capa de proteína que rodea a un ácido nucleico. Fáciles de criar, con un período de reproducción de media hora y compuestos de solo dos moléculas, los virus fagos demostraron ser sujetos ideales para decidir si eran las proteínas o los ácidos los responsables de la herencia. El año después de que Crick y Watson se conociesen en Cambridge, se enteraron de que un reciente experimento con fagos había inclinado la balanza de forma definitiva hacia el ADN. Los dos científicos decidieron combinar este enfoque de la información con investigaciones más tradicionales sobre la estructura mecánica y el comportamiento químico de las moléculas.

Watson era un genetista al que no se le daban bien los fagos, al que le aburría la química y con poca experiencia en la exploración de la arquitectura de las grandes moléculas, un tipo de investigación especialmente importante en Gran Bretaña. La principal técnica en este sentido era la cristalografía de

rayos X, una especialidad en la que ocupaban posiciones de importancia un número singularmente alto de mujeres, como la cristalógrafa Dorothy Hodgkin (Figura 48), jefa del laboratorio de Oxford y galardonada con el premio Nobel. La técnica, en principio, es simple: se hacen pasar haces de rayos X a través de un cristal y los investigadores generan patrones de puntos en una pantalla, a partir de los cuales averiguan la estructura interna de la molécula. La realidad es muy diferente. Como indica la Figura 53, creada por Franklin, es necesario poseer una inusual habilidad y paciencia para obtener siquiera una imagen clara, y no digamos para construir una estructura tridimensional a partir de una serie de imágenes en dos dimensiones. La fotografía de rayos X exige una cuidadosa manipulación química, mediciones precisas y una interpretación experta.

Para la experta Franklin, esta fotografía no era más que una de las muchas piezas que evaluaba sistemáticamente, tomándose el tiempo necesario para ello y aprendiendo a dominar las técnicas necesarias, un procedimiento metódico compartido por Hodgkin. Watson, en cambio, describe cómo daba bandazos de una hipótesis incorrecta a la siguiente, y acabó en la doble hélice combinando destellos de intuición y fragmentos de información prestada de especialistas. Watson y Crick, forcejeando con su puzle tridimensional, recogían solo la información imprescindible para permitirles encajar sus piezas en una estructura compatible con todos los datos. Después de muchos callejones sin salida y felices casualidades, llegaron a un versión que tenía sentido y además lo tenía todo en cuenta. Durante los años posteriores, un ejército de biólogos moleculares se dedicaron a averiguar los detalles, a explicar cómo las moléculas de ADN pueden desenredarse en dos hebras separadas antes de combinarse con nuevos compañeros para formar un patrón único.

Los genetistas moleculares unieron también dos aspectos independientes de la biología: la actividad electroquímica en el interior de las células y las teorías darwinianas de evolución por selección natural. Para rastrear las líneas de herencia evolutiva, los científicos se concentraban antes en el examen de las características visibles, como los esqueletos de los animales o los órganos reproductivos de las plantas. Una vez que se puso al descubierto la estructura interna de los genes, disponían de una nueva herramienta para establecer relaciones evolutivas, una herramienta que proporcionaba un nuevo tipo de pruebas para confirmar las conclusiones de Darwin. Aun así, esto no sirvió para convencer a los que no estaban convencidos, sino más bien al contrario: a medida que aumentaba el apoyo científico a la evolución por selección

natural en la segunda mitad del siglo XX, la oposición se fortalecía. Los cristianos fundamentalistas se refugiaron en la seguridad de la Biblia, mientras que otros entusiastas sustituían al Dios tradicional por un Diseñador Inteligente, sin dar explicación alguna sobre qué tipo de inteligencia se le supone a un diseñador que planifica a personas con tendencia a los problemas de espalda y bebés con la cabeza excesivamente grande.

La decodificación del ADN se festejó como un gran triunfo, pero el enigma de la vida en sí siguió siendo un misterio. Para resolver el problema, el reduccionismo volvió a ponerse de moda en la ciencia. En esta versión del siglo XX, los genes adquirieron una nueva reputación como componentes fundamentales de la vida y la sociedad, que determinan el aspecto y el comportamiento de un organismo. Equipos de investigación de todo el mundo se embarcaron en un ambicioso programa internacional para elaborar un mapa del genoma humano, para hallar el orden de los subgrupos químicos que componen cada uno de los genes. Las ciencias de la vida, anteriormente consideradas como una especialidad «blanda», terreno de mujeres y aficionados, vieron cómo los gobiernos empezaban a financiar generosamente la investigación genética, el nuevo rival de la física y de los vuelos espaciales. Igual que aterrizar en la Luna, la elaboración del mapa del genoma humano proporcionó abundante material propagandístico no solo para la ciencia, sino también para determinados países. Los científicos aprovecharon las tensiones políticas para solicitar el apoyo de los estados; en Francia, por ejemplo, insistían en la importancia de oponerse al dominio norteamericano, mientras que sus homólogos británicos destacaban los peligros de la fuga de cerebros al otro lado del Atlántico.

La investigación genética se trasladó también fuera de los laboratorios para poner un nuevo punto de mira en la sociedad. En la década de 1970 surgió una nueva disciplina científica: la *sociobiología*, fundada por Edward Wilson (al que se suele citar como E. O. Wilson), un investigador norteamericano especializado en las hormigas que había decidido dar el salto a una teoría general de los seres humanos. El proceso se efectuó en dos fases. En primer lugar, los sociobiólogos examinaron su propia sociedad y otras sociedades para hallar los elementos comunes; a continuación dieron un salto teórico, afirmando que esas características eran universales porque estaban codificadas en los genes de las personas. Según ese tipo de lógica, como las responsabilidades están casi universalmente repartidas entre los sexos, los hombres están genéticamente programados para trabajar y las mujeres, para quedarse en casa. Los oponentes acusaron a los sociobiólogos de otorgar

validez científica a la represión política: el cambio es inútil, dice el razonamiento, porque las personas están dominadas por genes que han sobrevivido a tres mil millones de años de lucha evolutiva.

En el centro de la evolución se conservaba, sin embargo, una paradoja: si la vida es una batalla por la supervivencia, ¿por qué las personas son amables unas con otras? ¿Por qué se comportan con altruismo, sin obtener una clara ventaja para sí mismos? Uno de los discípulos de Wilson, el zoólogo británico Richard Dawkins, introdujo un nuevo término en el idioma inglés: «el gen egoísta», una metáfora que pronto se solidificó en la realidad. Cuando Darwin planteó su teoría de supervivencia agresiva, incorporó el *ethos* competitivo del capitalismo victoriano; en la versión de Dawkins, el interés personal está codificado en nuestras moléculas. Según Dawkins, el mundo natural es cruel porque son los genes individuales, no los organismos completos, los que intentan continuamente eliminar a sus competidores moleculares. Desde su perspectiva sociobiológica, aunque los actos de generosidad humana pueden parecer altruistas, ocultan batallas que se llevan a cabo en las profundidades de nuestras celdas, en donde los genes condicionan de manera egoísta nuestra conducta para garantizar su propio futuro. Dawkins ofrecía así una popular explicación de las interacciones químicas, pero en la realidad —como señalaban sus críticos—, los genes no pueden pensar ni tener motivos, ya sean o no egoístas. Sin embargo, a pesar de sus limitaciones, este modelo verbal amplió cada vez más su influencia.

En la década de 1980, las posturas idealistas sobre una investigación genética cuyo único objetivo era desvelar las verdades de la naturaleza se habían desvanecido. La biología molecular había sido suplantada por la biotecnología. Los genes ya no se descubrían, sino que eran artefactos diseñados en el laboratorio, lo cual se traducía en que podían patentarse. La ideología de la imparcialidad de la ciencia recibió un nuevo golpe con la entrada de las empresas en el mercado de los componentes básicos de la vida. Las universidades empezaron a parecerse a industrias, los investigadores estaban obligados a respetar reglas de confidencialidad y su objetivo era crear inventos rentables cuyo propietario era la institución, no el individuo.

Las esperanzas de que los secretos de la vida podrían ponerse al descubierto por el procedimiento de desenredar hélices demostraron ser falsas. Las moléculas reales resultaron ser mucho más desorganizadas que los modelos de laboratorio, y estaban repletas de errores y repeticiones. Lejos de estar formada por paquetes ordenados de información, una molécula de ADN contiene una cantidad relativamente pequeña de genes eficaces, dispersos

entre gran cantidad de detritus químico. Y un problema aún mayor: empezaba a estar bastante claro que los genes no eran los responsables de todo; los seres humanos y los chimpancés comparten casi un 99 por 100 de su ADN, lo cual no deja demasiado margen para explicar las diferencias entre ambas especies. El viejo debate entre nacimiento y crianza reapareció bajo un nuevo aspecto en el que las influencias ambientales se extendían al entorno químico de los genes dentro de las células.

Aunque el proyecto del genoma humano prometía mejoras médicas muy beneficiosas, pocas se han convertido en realidad, porque las interacciones genéticas pueden ser extraordinariamente complejas. No hay genes individuales que se correspondan con la enfermedad coronaria o con el cáncer, por no hablar de la delgadez, la inclinación sexual o la inteligencia. En todo caso, la situación ha dado lugar a nuevos problemas éticos. Juguetear con células y transmitir los efectos a las generaciones futuras es una perspectiva alarmante debido a la posibilidad no muy aventurada de que algo no funcione bien. Y además, ¿quién decide cuándo una diferencia se convierte en un defecto? Aunque a muchas personas les gustaría erradicar la enfermedad de Huntington (de efectos devastadores, progresiva e incurable), otras afecciones hereditarias pueden parecer menos claras. Arreglar la raza humana para eliminar características supuestamente indeseables parece algo demasiado próximo a los planes nazis de purificación. Como la eugenesia, la terapia génica es una ciencia médica iniciada con la mejor de las intenciones, pero cargada de potencial político.

3 - Cosmología

Dos caminos divergían en un bosque, y yo… Yo tomé el menos transitado, y eso ha supuesto toda la diferencia.

Robert Frost, *The Road Not Taken* (1916)

James Watson convirtió su falta de especialización en una ventaja al describirse a sí mismo como un *bricoleur* de la ciencia, un aventurero intelectual que había decodificado los secretos de la herencia montando fragmentos sustraídos de diversas disciplinas. Pero otros pioneros con ese mismo desparpajo fueron ridiculizados por aventurarse en áreas fuera de sus habilidades propias. Cuando Alfred Wegener, un meteorólogo alemán, murió sobre una placa de hielo en el Ártico en 1930, sabía que su original idea acerca de la estructura de la Tierra había sido rechazada por los geólogos profesionales. Pasaron más de treinta años antes de que se convirtiese en héroe póstumo de las ciencias de la Tierra tras la confirmación de su idea de la deriva continental en la década de 1960.

Como Crick y Watson, Wegener había decidido enfrentarse a uno de los grandes desafíos pendientes de la ciencia; como ellos, su actuación consistía en apoyar sus intuiciones con información tomada de otros especialistas y convertirlo todo en una solución nueva. La ciencia geológica había consistido tradicionalmente en fechar rocas e identificar fósiles, pero Wegener estudió la Tierra como un objeto completo; de un modo similar a un cosmólogo, intentó comprender el desarrollo de nuestro planeta desde su creación hasta su forma actual. Por desgracia, a pesar de que el modelo que creó era atractivamente simple, Wegener no pudo hallar un mecanismo que explicase su funcionamiento. Los geólogos ortodoxos (en especial los norteamericanos) condenaron las teorías de este entusiasta alemán, censurándolo por recoger sus conocimientos en los libros de una biblioteca en lugar de salir y obtener experiencia práctica en el campo.

Wegener tuvo una primera inspiración en 1910, cuando observó que los bordes de África y de Suramérica encajaban como piezas de un

rompecabezas. Otras personas ya se habían dado cuenta de esta concordancia, pero Wegener fue el primero que la convirtió en una teoría completa. Hay que reconocer que no era muy sólida, a pesar de que intentaba dar respuesta a conflictos históricos entre distintas tendencias de la geología. Los anticuados discípulos de Charles Lyell, el geólogo que había influido en Charles Darwin, argüían que la Tierra se halla en un estado estacionario de cambio gradual, una lenta transformación a ritmo uniforme que se extendía a lo largo de eones. A los partidarios de Lyell se oponían los modernos catastrofistas, que sostenían que las perturbaciones habían sido mucho más violentas en el pasado que en la actualidad; con el apoyo de los físicos, explicaban que la Tierra se estaba enfriando y encogiéndose, creando así cordilleras como sucede con la piel arrugada de una manzana vieja.

A principios del siglo XX, esa imagen ya no parecía ser correcta. Los cálculos mostraban que la contracción por enfriamiento no bastaba para dar cuenta de los monstruosos pliegues de la superficie terrestre. Otra complicación era la variada composición de la corteza terrestre; parecía claro que los continentes no están hechos del mismo material que los lechos oceánicos, sino que más bien son como balsas ligeras que descansan sobre una superficie más dura. Para empeorar las cosas, tras el descubrimiento de la radiactividad, los físicos declararon que la Tierra ha mantenido una temperatura estable, calentada por la desintegración nuclear dentro de su núcleo. Enfrentado a diversos grupos, cada uno de ellos con preocupaciones propias, Wegener intentó hacer coincidir sus discordantes perspectivas seleccionando los elementos que apoyaban su visión del mundo rompecabezas.

Wegener rescató la idea de que en una época había existido un único supercontinente, al que denominó *Pangea*. En el diagrama superior de la Figura 54**[f54]** muestra una imagen de la Tierra hace unos trescientos millones de años, con la mayor parte de territorio concentrado en la Pangea. De forma muy gradual, explicaba Wegener, esta masa única se fragmentó en continentes de formas reconocibles, que se arrugaron para formar cordilleras. El mapa inferior muestra sus posiciones hace unos dos millones de años, al principio del actual período geológico. En apoyo de su tesis, Wegener reunió gran cantidad de pruebas auxiliares. Como experto en climatología histórica, señaló lo bien que su teoría explicaba los patrones históricos de glaciación lejos de los polos. También halló confirmación en el registro fósil y en las formaciones geológicas, haciendo notar su continuidad en ambos lados del océano como líneas de un periódico rasgado.

Los oponentes de Wegener no quedaron convencidos. Sí, estaba muy bien que un intruso aficionado presentase bonitos diagramas, se burlaron, pero ¿dónde estaban las pruebas? De todos los problemas que Wegener decidió dejar de lado para resolver más adelante, el más grave era el de cómo funcionaba todo aquello. ¿Por qué derivan los continentes y cómo lo hacen? Ni Wegener ni sus seguidores pudieron hallar una respuesta razonable. Su idea de la deriva continental permaneció en cuarentena hasta después de la segunda guerra mundial, cuando las actitudes hacia el estudio de la Tierra habían cambiado.

En la época de la guerra fría, el reto de descifrar el pasado distante del mundo ya no pertenecía al dominio exclusivo de los geólogos tradicionales que examinan fósiles y estratos. La nueva disciplina de las ciencias de la Tierra abarcaba ahora a los sismólogos, meteorólogos, oceanógrafos… Especialistas con formación en física matemática que contemplaban la Tierra como una unidad. Aparte de examinar su superficie, estos científicos investigaban sus estructuras internas, sus océanos y su atmósfera, así como los efectos de su entorno cosmológico, como las tormentas magnéticas del Sol. A diferencia de la geología, las ciencias de la Tierra eran Gran Ciencia y atraían una inmensa cantidad de fondos, no solo de patrocinadores industriales en busca de minerales, sino también de países en busca de estatus. Estados Unidos competía contra la Unión Soviética en la conquista del espacio, pero también lanzó el Proyecto Mohole, un plan extraordinariamente caro (y que se abandonó) para enviar sondas a las profundidades de la Tierra.

Algunos de estos científicos, que trabajaban para el ejército, alzando mapas de los lechos marinos para facilitar el seguimiento de los submarinos enemigos, obtuvieron resultados sorprendentes. En lugar de ser gruesos, antiguos y planos, los lechos oceánicos resultaron ser delgados, recientes (en términos geológicos, claro está) y cruzados por crestas aún más jóvenes que se extendían bajo las aguas en dirección norte-sur. Lo que aún parecía más extraño, las rocas en ambos lados de estas cordilleras oceánicas tenían atrapadas en su anterior bandas magnéticas, registros permanentes del pasado del planeta. Mientras, en tierra firme, los geofísicos hallaban pruebas de que el campo magnético terrestre había cambiado varias veces durante la historia. Y, mientras estos y otros resultados se iban acumulando, en 1962 apareció un libro que cambió la forma en la que los científicos pensaban sobre su propia actividad: *La estructura de las revoluciones científicas* de Thomas Kuhn.

La decepción del público crecía y crecía, espoleada por las campañas para el abandono de las armas nucleares, la prohibición de los pesticidas y la

reflexión sobre las prioridades de investigación en una sociedad dominada por los hombres. Cada vez parecía más claro que ciencia no implicaba necesariamente progreso. Kuhn era un catastrofista, no un uniformista. Según Kuhn, la historia de la ciencia está salpicada de revoluciones, cada una de ellas precipitada cuando las pruebas contra la opinión predominante se acumulan hasta superar un punto de ruptura. Por ejemplo, antes de Copérnico, los astrónomos ideaban lo que ahora nos parecen insólitos esquemas para apoyar la idea de un sistema con la Tierra en el centro, aferrándose a complicados epiciclos aunque sus predicciones no se correspondiesen con las observaciones. Finalmente; decía Kuhn, se llega a un punto crítico. El modelo antiguo se abandona por completo y los esfuerzos de la generación siguiente se dedican a la ciencia normal: refinar la versión nueva, comprobar si se ajusta a las observaciones y establecer un nuevo paradigma que guíe la forma en la que las personas conciben el mundo. Hasta que se empiezan a acumular las discrepancias… y tiene lugar una nueva revolución.

Inspirados por la gratificante perspectiva de ser celebrados como revolucionarios, los científicos que se dedicaban a las ciencias de la Tierra se presentaron conscientemente a sí mismos como modificadores de paradigma kuhniano. Su momento ¡Eureka!, el equivalente geológico de la caída de la manzana de Newton o de la tetera de Watt, llegó en 1965, cuando un patrón hipotético de bandas magnéticas se ajustó perfectamente a las observaciones de un equipo que efectuaba prospecciones en el océano. Aunque era necesario pulir muchos detalles, esta concordancia simbolizó el nacimiento de la tectónica de placas. Fue muy práctico tener ya un héroe disponible: Alfred Wegener, cuyas ideas se correspondían con algunos aspectos de esta nueva teoría. Wegener había imaginado los continentes derivando alrededor del mundo, pero ahora se los concebía montados sobre gigantescas placas en movimiento constante, mientras las rocas circulaban bajo los océanos, elevándose en las crestas y hundiéndose de nuevo en las depresiones.

Aquello parecía una revolución kuhniana ideal. De rápida aceptación, la tectónica de placas invalidó los modelos antiguos y resolvió de forma radical las tensiones intelectuales surgidas desde principios de siglo. La ciencia de la Tierra se estabilizó, reconciliando esta visión de lentos cambios perpetuos con el uniformismo de Lyell. Pronto, sin embargo, una nueva disrupción agitaría este tranquilo período de consolidación cuando se sugirió que periódicamente la Tierra recibe el impacto de asteroides, que agitan violentamente la Tierra y fuerzan el paso de un período geológico a otro. Reflejando los actuales temores de inviernos nucleares, algunos científicos imaginaban escenas de

desastre con bombardeos de meteoros que producen nubes de detritos que bloquean la luz, condenando a los dinosaurios y a otras especies a la extinción. El uniformismo terrestre sufría un nuevo desafío, el del catastrofismo cosmológico.

La geología había sido independiente de la astronomía, pero se desarrollaron juntas durante el siglo XX. Afectadas de forma similar por las guerras, la financiación y la matematización, quedaron incluidas en las nuevas Grandes Ciencias: la ciencia de la Tierra y la cosmología. E incluso esos límites eran borrosos. Las ciencias de la Tierra tenían en cuenta los entornos espaciales y los cosmólogos precisaban de conocimientos geológicos para analizar rocas de otros mundos en busca de rastros de vida. Como ilustra la teoría de los asteroides, estaban también intentando dar respuesta a la misma cuestión fundamental: ¿el cambio es gradual o violento? El debate de los científicos acerca de la deriva continental iba acompañado de argumentos cosmológicos sobre el Universo en su conjunto: ¿era eternamente estable o se originó de forma explosiva?

La decisión de un Universo uniforme o variable se veía afectada tanto por las pruebas sólidas como por las convicciones personales. A pesar de los enormes instrumentos, la complejidad matemática y los proyectos de escala industrial de la Gran Ciencia, los científicos no dejaban de ser personas reales, no autómatas racionales. Por ejemplo, Einstein, en lo que más tarde llamaría «su mayor metedura de pata», permitió que su convicción personal de que el Universo es estable contradijese a su propia relatividad general, que predice su expansión. Aunque se opuso a sus críticos durante años, finalmente tuvo conocimiento de algunos sorprendentes resultados que mostraban que estaba equivocado. Decidido a averiguarlo por sí mismo, mientras Wegener viajaba a Groenlandia al encuentro de su propia muerte, Einstein hacía planes para visitar California y conocer al astrónomo Edwin Hubble.

Hubble se ha hecho famoso por el telescopio espacial que lleva su nombre, pero se le solía llamar «El Comandante» por su conducta aristocrática y las expresiones inglesas que utilizaba. Poco después de servir como oficial en la primera guerra mundial, Hubble se había visto envuelto en la mayor controversia astronómica de Estados Unidos. ¿Hay una única, enorme galaxia, o muchas galaxias pequeñas dispersas por el espacio como universos isla? Aunque se supone que los científicos toman sus decisiones analizando datos, en este caso no se ponían de acuerdo sobre el significado de estos. Los partidarios de ambas tesis afirmaban poseer pruebas convincentes, pero las mismas observaciones se pueden utilizar para apoyar teorías

distintas; ante un mismo amanecer, Ptolomeo vería salir el Sol, mientras que Galileo vería hundirse la Tierra. Poco a poco, los partidarios de la galaxia única empezaron a aumentar, no porque dispusiesen de mejores pruebas, sino porque sus líderes eran mejores en los debates.

Los astrónomos necesitaban una regla con la que medir el Universo, y esta regla se la proporcionó una calculadora humana, Henrietta Leavitt, una de las numerosas mujeres empleadas como bestias de carga científicas durante los últimos 300 años. Con la inteligencia suficiente para poder calcular, pero lo bastante desesperadas por trabajar como para soportar largas jornadas y bajos salarios, entre estas mujeres no solo encontramos a matemáticas que elaboraban tablas de números antes de la era de la electrónica, sino también a amas de casa de la década de 1960 contratadas para descifrar los recorridos de las partículas subatómicas. En Harvard, a principios del siglo XX, la tarea de las mujeres calculadoras era revisar placas fotográficas midiendo el brillo de cada estrella en comparación con una paleta estándar. Aunque a Leavitt, una semiinválida que vivía recluida, le pagaban por trabajar, no por pensar, manipuló a su jefe para que aceptase las condiciones que ella imponía, y fue capaz de identificar un tipo especial de estrella de brillo variable. Al elaborar una gráfica del brillo de cada estrella en función del periodo de variación vio que seguía una línea recta, lo que Hubble utilizó más tarde para averiguar la distancia a la que se hallaba una nueva estrella que había descubierto. La cifra que halló fue tan inmensa que los partidarios de la galaxia única tuvieron que rendirse y admitir que era más probable que hubiese múltiples universos. Pero Leavitt ya había muerto, sus detalles personales se habían olvidado y el director del observatorio se había apropiado de la gloria que le correspondía a ella.

Hubble trazó su propia gráfica en línea recta, utilizando las estrellas variables de Leavitt para averiguar las distancias de las galaxias isla y representarlas en función de la velocidad. Fue este resultado el que hizo que Einstein se replantease su opinión, ya que Hubble demostró que, cuanto más alejada se encuentra una galaxia, más rápido se aleja de la Tierra. Como Einstein explicó cuando regresó a Oxford (véase la pizarra de la Figura 40), el diagrama de Hubble confirmaba la consecuencia de la teoría de la relatividad que tanto le había costado aceptar al propio Einstein: el Universo empezó siendo un pequeño cúmulo de gran densidad y lleva expandiéndose desde entonces. En palabras del periódico local de la ciudad natal de Hubble: «Joven que abandonó las montañas Ozark para estudiar las estrellas hace cambiar de opinión a Einstein»[114].

Aunque Einstein cambió de parecer acerca de la expansión cósmica, algunos de los científicos posteriores no estaban de acuerdo con ella. Sus reservas eran tanto teológicas como científicas. A mediados de siglo se estaba definiendo el frente de batalla, con el simbólico liderazgo de dos astrónomos de Cambridge, Martin Ryle y Fred Hoyle. Por un lado se hallaban los teóricos del Big Bang alineados con Ryle, que afirmaban que el Universo se había formado mediante una explosión a partir de un diminuto pero masivo centro. Para ellos, esta era la única forma de conciliar la expansión de Hubble con la relatividad de Einstein. Como factor ventajoso adicional, era compatible con la primera frase de la Biblia: «En el principio Dios creó los cielos y la tierra». Otros científicos —sobre todo Fred Hoyle, ateo declarado— aborrecían esta intrusión de los puntos de vista religiosos en la ciencia. Rechazando la idea bíblica de que el cosmos de Dios lleva asociada una trayectoria en el tiempo, sostenían que el Universo se encuentra en un estado estacionario y se expande gradualmente a medida que se crea materia, pero siempre con el mismo aspecto, se mire desde donde se mire.

Los partidarios del Big Bang se convencieron de su victoria a principios de la década de 1960, cuando Ryle obtuvo dos confirmaciones experimentales. Una de ellas procedía de los laboratorios Bell en Estados Unidos, en donde un grupo de astrónomos anunció que habían logrado averiguar la causa del ruido que había estado perturbando las observaciones de sus antenas (incluso habían limpiado los excrementos de paloma para eliminar cualquier posibilidad). Para ellos estaba claro que estaban recibiendo una radiación de baja temperatura que impregnaba todo el espacio, confirmando así una predicción anterior sobre el enfriamiento del cosmos después de una explosión inicial. El otro descubrimiento significativo fue un nuevo tipo de estrellas que emitían ondas de radio, denominadas quásares, que se hallaban a enormes distancias de la Tierra y que parecían alejarse a grandes velocidades.

En lugar de admitir su derrota, Hoyle y sus partidarios se comportaron como reaccionarios kuhnianos, apuntalando su teoría cada vez más insostenible ante la montaña de pruebas en contra. Y sin embargo, a pesar de que la idea del estado estacionario acabó por desaparecer, Hoyle ejerció una gran influencia como popularizador de la cosmología. Cuando Hoyle utilizó la radio y las revistas para defender sus puntos de vista, sus rivales del Big Bang le acusaron de utilizar una táctica innoble. Sin embargo, al sacar los abstrusos debates científicos de las oscuras revistas especializadas y ponerlos en los medios de comunicación de masas, Hoyle captó el interés del público,

esencial para que los gobiernos aumentasen su financiación. Los astrónomos que ridiculizaban a Hoyle acabaron por sacar provecho de él, porque la investigación espacial se puso de moda, lo que facilitó la obtención de apoyos estatales por parte de los grupos de presión científicos.

Aunque Einstein acabó por admitir que el Universo se encuentra en expansión, nunca aceptó totalmente la validez de la mecánica cuántica, a pesar de la importancia de sus propios trabajos en el establecimiento de las reglas de probabilidad subatómicas. Para él se trataba simplemente de herramientas matemáticas, no de descripciones de la realidad, y pasó décadas buscando en vano fórmulas que encapsulasen el cosmos en su conjunto. En cambio, en el segundo tercio del siglo XX, la mayor parte de los físicos teóricos centraron sus trabajos en el reino cuántico, creando herramientas conceptuales que los investigadores de laboratorio podían emplear para investigar las diminutas partículas. El espaciotiempo curvado de Einstein se convirtió en un páramo intelectual al que solo prestaba atención un pequeño grupo de solitarios matemáticos.

Inesperadamente, la relatividad general volvió a la primera plana de la actualidad en 1960, cuando Einstein ya había muerto. Esta teoría sin aplicaciones se elevó repentinamente al lugar que le correspondía, porque los cuerpos celestes que los potentes radiotelescopios estaban revelando eran lo bastante grandes y lo bastante rápidos como para verse afectados por las ecuaciones de la relatividad general. Para describir estas maravillas relativistas se empezaron a acumular los nombres exóticos. Los quásares dieron paso a los *púlsares* (que también emiten radiación, pero parecen hacerlo de forma intermitente), que aparecieron como extrañas señales en un listado de impresora en Cambridge y fueron detectados por Jocelyn Bell (que rechazó indignada la idea de su incrédulo supervisor de que se trataba de una interferencia de la BBC, y desde entonces se ha convertido en una de las principales defensoras de los derechos de la mujer en la ciencia).

De estos milagros astronómicos, los agujeros negros son los más famosos. Se trata del inspirado (desde el punto de vista de las relaciones públicas, como mínimo) nombre que se dio a unos puntos teóricos que Einstein había considerado curiosidades matemáticas sin importancia. Como la sonrisa del gato de Cheshire, un agujero negro es el núcleo de una estrella que ha dejado de ser visible y solo se puede detectar por su atracción gravitatoria. En la década de 1980, a los agujeros negros se les habían unido los agujeros de gusano, las *cuerdas*, la materia oscura y las ondas gravitatorias, convirtiendo la astrofísica de altas energías en una ciencia distinguida entre personas que

no sabían demasiado bien a qué se referían esas palabras. Tenía incluso su propia estrella mediática: Stephen Hawking, epítome del genio incorpóreo, cuyo libro *Historia del tiempo* probablemente sea el *best seller* menos leído de la historia.

Esta extraña cosmología deslumbra a sus admiradores; sin embargo, a pesar de su originalidad, se le pueden plantear algunas viejas objeciones. La distinción de Einstein entre ecuaciones matemáticas que describen y modelos filosóficos que explican es fundamental para la ciencia. Aunque Einstein reconocía que la mecánica cuántica resulta útil para describir fenómenos singulares, creía que su fundamento probabilístico era provisional, una solución temporal que ocultaba la ignorancia humana sobre el plan superior de un Dios que no juega a dados con el Universo. Así mismo, los cosmólogos reconocen que, aunque los agujeros negros y sus esotéricos compañeros son conceptos valiosos que funcionan desde un punto de vista matemático, puede que su existencia física no tenga demasiado sentido.

A finales del siglo XX, los ateos se jactaban con agresividad de que la ciencia había eliminado la necesidad de la religión. Sin embargo, a pesar de que los cosmólogos estaban contemplando el borde del Universo y retrocediendo en el tiempo hasta sus orígenes, no estaban más cerca que antes de refutar la existencia de Dios. Recorrer la historia del Universo desde el instante posterior al Big Bang es un logro notable, pero deja sin respuesta la pregunta fundamental: cómo se inició el Big Bang. Como suele suceder en ciencia, la interpretación de las pruebas depende de la voluntad de cada uno.

4 - Información

¿Dónde está la vida que hemos perdido en vivir?
¿Dónde está la sabiduría que hemos perdido en conocimiento?
¿Dónde el conocimiento que hemos perdido en información?

T. S. Eliot, *La roca* (1934)

Irónicamente, la historia del proceso de la información está envuelta en un sudario de secreto. Google ofrece actualmente acceso instantáneo a más información de la que cualquiera puede asimilar, pero los ordenadores se desarrollaron bajo directivas de flujo restringido de información. En sus inicios, las grandes computadoras electrónicas eran grandes ingenios militares destinados a descifrar los códigos enemigos o calcular trayectorias de misiles, y estaban protegidos por estrictas medidas de seguridad para garantizar que no se filtrase ningún detalle sobre ellos. No fue hasta el año 2000 cuando el gobierno británico desclasificó la versión oficial (oculta tras el caprichoso título «Informe general sobre Tunny») de los equipos desarrollados durante la guerra en Bletchley Park, una base militar camuflada. Puede que la información electrónica viaje rápida y libremente por Internet, pero también está envuelta en una telaraña mundial de secretismo.

A medida que la ciencia se militarizó, a mediados del siglo XX, dos ideologías entraron en conflicto. Los científicos creían (en principio, al menos) en el libre intercambio de información, con la finalidad de acelerar el progreso tanto como fuese posible. En cambio, el personal de inteligencia compartimentaba las actividades en pequeñas celdas con información limitada. Estos puntos de vista opuestos, que sus partidarios tenían por obvios, chocaron frontalmente cuando los mandos militares empezaron a apropiarse de los proyectos de guerra en los que participaban investigadores científicos: bombas atómicas, computadoras electrónicas, etc. En lugar de compartir sus resultados en conferencias internacionales, los científicos se veían obligados a respetar las restricciones impuestas por la seguridad nacional.

Esta cultura del sigilo siguió impregnando las ciencias de la computación durante la guerra fría, cuando las investigaciones secretas se dirigían al desarrollo de sistemas de defensa. En su deseo de lograr la superioridad electrónica sobre los rusos, el gobierno de Estados Unidos financiaba generosamente, no solo a las fuerzas armadas, sino también a las universidades y a empresas privadas que producían ordenadores para su uso en empresas. Como ilustra la caricatura de la Figura 55**[f55]**, los intereses militares, comerciales y académicos estaban interrelacionados. Este ordenador, el Harvard Mark III, se construyó en un laboratorio universitario financiado por IBM, y fue diseñado para la Armada, como muestran la gorra y los galones.

En esta relación simbiótica, parecía que todos obtenían beneficios. Las empresas comerciales conseguían fondos del estado que les permitían sobrevivir a los tiempos difíciles y también se beneficiaban de un mercado garantizado y de gran tamaño; al mismo tiempo, los expertos del ejército tenían acceso inmediato a los últimos resultados. Pero existía una cara oculta. Para los científicos que no estaban en la nómina del gobierno era extremadamente difícil acceder a este tipo de computadoras, y los que aceptaban la financiación ya no podían ser fieles a su ética de apertura, sino que sus nuevos jefes los confinaban a una política de restricción de información.

Durante la segunda guerra mundial, inventores militares de tres países, —Gran Bretaña, Alemania y Estados Unidos—, estaban trabajando en proyectos de computación. Los civiles no tuvieron noticia alguna de estas investigaciones hasta 1946, cuando el ejército de Estados Unidos convocó una conferencia de prensa para presentar su *Electronic Numerical Integrator and Calculator* (ENIAC, Integrador y calculador numérico electrónico), construido en un departamento universitario pero controlado por hombres y mujeres de uniforme (Figura 56**[f56]**). Para un mayor impacto visual durante su presentación, se habían construido apresuradamente paneles con bombillas parpadeando detrás de pelotas de *ping-pong* cortadas por la mitad. Los gigantescos bancos de equipos eléctricos ocupaban una sala de gran tamaño, pero no eran ni de lejos tan rápidos y potentes como los componentes de un ordenador portátil moderno. Aun así, los artículos de los periódicos hablaban como en éxtasis de esta máquina artificial, cuyos dispositivos internos operaban centenares de veces más rápido que las neuronas de nuestro cerebro, una idea que, aunque excitante, daba miedo.

A pesar de que los medios de comunicación daban la bienvenida a ENIAC como la primera computadora electrónica del mundo, sufría algunos inconvenientes, La máquina utilizaba 18 000 válvulas (tubos), dispositivos electrónicos biestables de aspecto parecido a bombillas, que solían fundirse y que los operadores humanos tenían que sustituir. Al apagarse y encenderse, las válvulas generaban una inmensa cantidad de calor; la refrigeración de los ordenadores primitivos era un problema de primera magnitud. También había que luchar contra los insectos: las polillas y las moscas podían hacer estragos en las conexiones internas: el origen del término de programación «to debug» era literal en las primeras máquinas electrónicas. Y aún más grave, las capacidades de la máquina sufrían limitaciones inherentes. ENIAC se había diseñado en principio para generar tablas de trayectorias de proyectiles; si se quería que hiciese una cosa distinta (por ejemplo, pronosticar el tiempo, o calcular el movimiento de las ondas sísmicas) era necesario recablearlo de forma manual durante varios días, un trabajo que solían llevar a cabo mujeres. ENIAC no era un ordenador primitivo, sino una gigantesca calculadora; era imposible indicarle que hiciese un tipo de cálculo distinto sin reconstruirlo físicamente.

En Bletchley Park, un puñado de científicos británicos ya utilizaban máquinas más versátiles, de nuevo con finalidades militares: penetrar en la red de inteligencia alemana descifrando sus comunicaciones en clave. El secreto era de importancia capital, ya que el éxito del proyecto dependía de que los alemanes no se dieran cuenta de que, a pesar de que alteraban sus claves a diario, sus mensajes diplomáticos eran leídos y tenidos en cuenta. La velocidad era también esencial, porque era necesario romper el código antes de que cambiase para poder impedir el ataque de un submarino o un bombardeo aéreo. A fin de mantener la seguridad, el personal de Bletchley Park trabajaba en grupos pequeños que conocían únicamente su tarea más inmediata. Muchos miles de estos hombres y mujeres murieron sin haber roto sus juramentos de confidencialidad ni revelado jamás que eran los británicos, no los norteamericanos, los que merecían el crédito por haber inventado el primer ordenador digital del mundo.

Al final de la guerra, diez máquinas electrónicas Colossus procesaban los textos interceptados, comparándolos rápidamente con una enorme cantidad de patrones de letras hasta que surgía una similitud que sugería un camino hacia el código oculto del día. Esta tarea solo resultaba factible porque el Colossus era capaz de tomar decisiones. En lugar de recorrer de forma mecánica todas y cada una de las posibilidades, eliminaba innumerables callejones sin salida

de un plumazo, ya fuese siguiendo instrucciones preestablecidas o con la ayuda de un operador humano. Aunque mucho menos adaptable que los ordenadores modernos, la capacidad de toma de decisiones diferenciaba a Colossus de ENIAC. La base militar funcionaba como una gigantesca máquina de procesamiento de información que tomaba mensajes incomprensibles y generaba detalles inteligibles de los planes alemanes. En su interior, sus componentes humanos, mecánicos y electrónicos interactuaban entre sí siguiendo instrucciones definidas.

Sin que muchas de las personas de Bletchley Park lo supiesen, con ellos trabajaba el mayor experto matemático del mundo en toma de decisiones, Alan Turing. En la actualidad Turing es considerado el fundador de nuestra moderna sociedad de la información, en la que el poder y el dinero surgen del control de las comunicaciones globales; y sin embargo, su vida y su reputación se ocultaban tras un velo de silencio. Aparte del secreto en el que se desarrollaba la mayor parte de su trabajo, Turing encubría también sus actividades homosexuales, que en aquella época aún eran ilegales. Después de que lo forzasen a confesar en juicio público, Turing fue sometido a un año de terapia hormonal experimental, y murió en 1954 tras comerse una manzana envenenada. Considerado en vida como una persona extraña y excéntrica y un traidor potencial vulnerable al chantaje, Turing se ha convertido actualmente en un trágico símbolo de la comunidad gay, un gurú de la información y un patriota que desbarató la seguridad alemana.

Turing y sus colegas guardaron silencio acerca de sus actividades en tiempos de guerra, y los primeros ordenadores programables se inventaron sin tener noticia alguna de sus investigaciones. Sin embargo, la enorme influencia de Turing no solo se dejó notar en la tecnología que hace funcionar los ordenadores, sino también en su relevancia. Después de la guerra, las organizaciones militares y comerciales estaban empeñadas en construir ordenadores más grandes, más rápidos y más potentes, y sobre todo capaces de ser programados para poder cambiar con rapidez de una tarea a otra. Turing planteó cuestiones fundamentales acerca de la inteligencia artificial, reduciendo distancias entre la mente humana y los circuitos electrónicos. Desde la muerte de su mejor amigo durante su adolescencia, Turing había dudado de la noción cristiana del alma, una convicción ética que transportó a su filosofía de las máquinas. De forma similar a los biólogos deterministas que buscaban la vida en moléculas complicadas, Turing creía que los ordenadores podían pensar, por mucho que estuviesen construidos de circuitos electrónicos. Pensar, observaba, era algo difícil de definir; pero fuera

lo que fuese, Turing estaba convencido de que tanto los ordenadores como las personas eran capaces de hacerlo.

La postura de Turing significaba el establecimiento de nuevos puntos de vista sobre los seres humanos y sobre las máquinas. El modelo para los ordenadores era el cerebro; ¿o quizá era al revés? La Figura 55 pregunta «¿Puede el hombre construir un superhombre?», y muestra cómo los brazos o los ojos se podrían sustituir por accesorios electrónicos. Las comparaciones funcionaban en ambas direcciones. Mientras que, al principio, los científicos afirmaban que los circuitos eran parecidos a neuronas superrápidas, pronto pasaron a decir que los sistemas nerviosos vivos funcionaban igual que los electrónicos. En sus visiones de la psique humana, las personas toman decisiones después de que las señales hayan recorrido en zig-zag una serie de intersecciones, que actúan como interruptores electrónicos en los que se elige uno de dos caminos. Uno de los ejemplos que se solía utilizar era el de la mecanógrafa: el oído de una secretaria capta las ondas de sonido del dictado de su jefe, y su cuerpo-cerebro las decodifica para convertirlas en señales electrónicas simples que activan sus dedos (los más ocurrentes ampliaban el paralelismo agregando que la secretaria podía acceder a su almacén de memoria para corregir la gramática).

En los visionarios proyectos de Turing, las experiencias reales y conceptuales se combinaban. En la década de 1930, antes de que los ordenadores electrónicos se convirtiesen en una posibilidad física, Turing había ideado una máquina imaginaria que recibía instrucciones mediante la lectura de una larga cinta de papel que contenía series de marcas y de espacios en blanco; en principio, afirmaba Turing, su máquina se comportaba como un ser humano. En 1950, parecía posible que esta inspiración matemática se convirtiese en realidad (véase la Figura 55), y Turing llevó su analogía un poco más allá. En un reflejo de su familiaridad con los procesos de romper códigos y de ocultar sus preferencias sexuales, Turing se preguntó en primer lugar cómo una persona podía determinar a partir de respuestas impresas si su invisible interlocutor era hombre o mujer. Luego fue un paso más allá en su universo imaginario: ¿era posible distinguir mediante preguntas entre un hombre y una máquina?

Los límites entre hombre y máquina siguieron siendo difusos durante toda la guerra fría, cuando la investigación en inteligencia artificial recibía financiación de los gobiernos. Al tiempo que los ingenieros intentaban que los ordenadores se comportasen como personas, los psicólogos describían los cerebros humanos como si se tratase de circuitos electrónicos. En una

extensión de las tecnorrelaciones simbióticas desarrolladas en Bletchley Park, las estructuras sociales se compatibilizaban con los sistemas de ordenadores, que a su vez se diseñaban como extensiones interactivas de los seres humanos. Para ayudar a los militares a dar órdenes a las máquinas electrónicas bajo su mando, los lenguajes de programación se hicieron cada vez más similares a los humanos; para mejorar la eficacia del armamento se construyeron ordenadores capaces de analizar las situaciones mientras estas tenían lugar. A medida que la tecnología informática avanzaba a un ritmo explosivo, estas aplicaciones militares se adoptaron para su uso civil: gestión de sistemas de nóminas, simulación de planificaciones de entregas, reducción de costes de producción. En la década de 1970, con los microcircuitos reduciéndose cada vez más, los fabricantes crearon otro lucrativo mercado: entraron en los hogares.

Como muchos adictos a los ordenadores, Turing veía el futuro con un optimismo entusiasta. «A finales de siglo», predijo, «estaremos acostumbrados a la idea de que las máquinas pueden pensar». Otros expertos hacían también precipitadas promesas similares a esta, impulsados por los cambios extraordinariamente rápidos en la tecnología electrónica, que hacían que los ordenadores fuesen cada vez más pequeños, más rápidos y más baratos. Sin embargo, aunque el ordenador *Deep Blue* fue capaz de derrotar al campeón del mundo de ajedrez en 1997, la táctica que empleó era muy distinta de la de cualquier oponente humano. En vez de ser los ordenadores los que se hiciesen similares a los seres humanos, los humanos se estaban adaptando a los requisitos de los ordenadores, y la realidad física se hacía cada vez menos importante. Las actividades bélicas reales —disparar misiles, suministrar provisiones, ensayar tácticas— se simulaban en colosales sistemas informáticos, mientras que las personas se entretenían luchando batallas falsas en las pantallas de sus casas o viendo películas como *2001* y *Blade Runner*, relatos de un futuro próximo en el que los ordenadores reinan supremos o son indistinguibles de los seres humanos. A finales del siglo XX, la formación militar tenía lugar en el reino virtual, en donde los pilotos se ponían a los mandos de un bombardero simulado en lugar de arriesgar la vida en uno real, y los soldados se conectaban para aprender *on line* las técnicas del combate cuerpo a cuerpo; a la inversa, los *hackers* civiles podían permitirse el placer de la guerra mediante el envío de virus. No es una sorpresa que la generación de *Star Wars* parezca estar más familiarizada con *Second Life* que con la vida real.

Turing no era el único experto en ordenadores con visiones utópicas. Durante la década de 1960, treinta años antes de que se inventase la World Wide Web, un canadiense experto en medios de comunicación llamado Marshall McLuhan acuñó su ingenioso aforismo que afirmaba que la tecnología electrónica convertiría el mundo en una aldea global. Mientras los gobiernos desarrollaban ordenadores como prótesis militares, los gurús de California hacían campaña por la libre circulación de la información en una comunidad virtual con acceso igualitario. En su homólogo electrónico del «Haz el amor y no la guerra», los ordenadores se emplearían al servicio de la democracia y de la educación universal. Primero apareció la industria de los ordenadores personales, con la potencia de cálculo alejándose de los sistemas masivos hacia los equipos individuales. A continuación vino Internet, que no se popularizó a partir de un plan centralizado, sino precisamente por estar bajo el control de todos y de nadie en concreto.

Los sueños de Turing y otros utópicos de la información no se han cumplido. La Web abarca todo el mundo, pero el hecho de necesitar electricidad para conectarse no ha reducido la separación entre ricos y pobres, sino al contrario. Puede que la información circule libremente, pero una gran parte de ella no tiene valor alguno o es peligrosa; el anonimato *on line* permite acceder a pornografía infantil y a manuales de terrorismo. Y cuando todo está codificado electrónicamente, la privacidad desaparece: en la actual versión computerizada de la aldea global de McLuhan, las cámaras ocultas graban las actividades diarias de las personas igual que una vecina cotilla oculta tras unos visillos. El secretismo y la guerra siguen dominando los ordenadores.

5 - Rivalidad

El espacio no es en absoluto remoto. Estaría solo a una hora de camino si tu coche pudiese ir hacia arriba.

Fred Hoyle, *Observer* (1979)

Después de la segunda guerra mundial, muchos científicos creían que debía de haber vida en otros planetas; después de todo, solo nuestra galaxia contiene 100 000 millones de estrellas, así que ¿por qué iba a ser especial nuestro planeta? Para Enrico Fermi, el físico nuclear italiano que había colaborado en el desarrollo de la bomba atómica norteamericana, este argumento contenía un defecto fundamental. ¿Por qué, se preguntaba, no hemos hallado pruebas de la existencia de ningún ser extraterrestre? La respuesta obvia a la pregunta de Fermi es que no existen esos alienígenas; sin embargo, después del desastre de Hiroshima surgió una posibilidad más siniestra: ¿era posible que la evolución de la inteligencia llevase implícita la tendencia a la autodestrucción? Durante la guerra fría, con la proliferación de los reactores nucleares y el crecimiento de las tensiones internacionales, la devastación global no parecía algo muy lejano. La paradoja de Fermi se convirtió en un símbolo de la geopolítica terrestre.

Este miedo a la aniquilación global quedaba reforzado por el enfrentamiento abierto entre las dos superpotencias. En la película *La guerra de las galaxias* (1977) se refleja este período como una batalla entre el bien y el mal, una lucha por la supervivencia entre la luz y la oscuridad como si el mundo estuviese dividido en dos facciones rivales. Del mismo modo que los hechos y la imaginación se mezclaban en las visiones utópicas de la inteligencia artificial, también las versiones cinematográficas del conflicto cósmico empezaron a interactuar con la realidad terrenal. Cuando Ronald Reagan, el primer presidente de Estados Unidos que había pasado por Hollywood, propuso la construcción de un gigantesco escudo antimisiles en el espacio, se llamó a la iniciativa «La guerra de las galaxias».

Nunca antes la ciencia y la política habían estado mezcladas de forma tan descarada. Durante la guerra fría, programas de investigación que parecían puramente científicos estaba también impulsados por las luchas de poder. Por todo el mundo, los gobiernos competían por su posición, e invertían una parte significativa de sus presupuestos anuales en dos aspectos clave: el espacio y la energía nuclear. En particular, Estados Unidos y la URSS utilizaban sus éxitos en ciencia para hacer aliados y consolidar su influencia. Aunque nunca llegaron a enfrentarse en un conflicto nuclear, ambos países protagonizaron grandes guerras de propaganda para explicar las implicaciones de sus proyectos. Baste con un ejemplo: la caricatura soviética de la Figura 57**[f57]** ataca a Estados Unidos, no solo anunciando la supremacía tecnológica de Rusia, sino también recurriendo a las naciones en desarrollo. En 1961, cuando Yuri Gagarin se convirtió en el primer hombre en viajar al espacio, su nave llevaba un poderoso nombre: *Vostok*, que significa *Este*. Para los ciudadanos soviéticos, la nave espacial *Este* simbolizaba su continua superioridad sobre Occidente, un mensaje pensado para obtener el apoyo de África, Asia y Suramérica. La Unión Soviética ya se había anotado una temprana victoria durante la guerra fría con el lanzamiento del *Sputnik*, el primer satélite artificial que orbitó la Tierra. El vuelo de Gagarin parecía confirmar las aseveraciones de Rusia de que únicamente el comunismo podía garantizar el progreso necesario para liberar a los países en desarrollo de la opresión imperial.

El lanzamiento del Sputnik coincidió, irónicamente, con un proyecto pensado para fortalecer la cooperación científica, el *Año Geofísico Internacional* (IGY, *International Geophysical Year*) de 1957-1958. El IGY era una iniciativa global a una escala sin precedentes. En él participaron 67 países, y alrededor de sesenta mil científicos gastaron miles de millones de dólares en una investigación de la Tierra en su conjunto: no solo sus rasgos superficiales, sino también la atmósfera, los océanos, el clima, los volcanes y los sudarios de magnetismo solar y radiación cósmica que la cubren. Para garantizar la colaboración futura, el espacio exterior y la Antártida fueron declarados laboratorios internacionales. Pensado en principio como demostración definitiva de que la ciencia es capaz de transcender las diferencias políticas, el IGY terminó siendo considerado una enorme contribución al conocimiento humano.

Los gobiernos invirtieron gran cantidad de dinero en el IGY porque se dieron cuenta de que había otros intereses en juego. La investigación geofísica no solo significó una mayor comprensión en el nivel científico, sino

que tuvo importantes consecuencias en los niveles comercial y militar. Las mismas redes internacionales que servían para detectar terremotos podían utilizarse también para detectar ensayos nucleares subterráneos. La prospección y elaboración de mapas de grandes depósitos minerales era importante desde el punto de vista de la ciencia, pero su valor financiero era incalculable. El estudio de los polos desveló nueva información biológica y geológica; las regiones polares, tanto norte como sur, son importantes desde el punto de vista de la estrategia de defensa. Con los barcos de prospección, los oceanógrafos podían crear mapas submarinos, pero sus equipos de sonar eran vitales para revelar posiciones de submarinos enemigos. Incluso la predicción del tiempo atmosférico sugería nuevas formas de armamento: bombardear nubes para destruir cosechas o fomentar las tormentas para aniquilar ciudades.

El resultado más emocionante fue la posibilidad de aventurarse en el espacio, una posibilidad real a partir de la investigación en cohetes efectuada durante la segunda guerra mundial. Mientras los científicos especulaban con entusiasmo acerca de las posibilidades de explorar la parte superior de la atmósfera terrestre, los gobiernos se centraban en las oportunidades políticas abiertas; pero ambos objetivos acabaron por entremezclarse. Los límites entre las comunidades científica y militar ya eran bastante difusos; durante el IGY se hizo aún más difícil distinguir entre las actividades de una y las de la otra. Por ejemplo, los físicos del espacio declararon que sería una idea excelente investigar los cinturones externos de radiación de la Tierra mediante la detonación de bombas de hidrógeno a una altura de cientos de millas. Mirado en retrospectiva, parece de una tremenda ingenuidad pensar que este experimento global podía desmarcarse del control militar. Con el nombre en código de «proyecto Argus», su control fue asumido por el ejército de Estados Unidos, que tomó medidas drásticas contra los debates internacionales acerca de las extrañas auroras boreales que sus ensayos provocaban sobre el Pacífico. Cuando los datos generados fueron finalmente desclasificados, los científicos norteamericanos se desentendieron de sus obligaciones de intercambiar información, alegando que «Argus no era un programa del IGY, sino un proyecto del Departamento de Defensa»[115].

El Sputnik y otros satélites de la primera generación se presentaron como instrumentos científicos, pero eran también inventos creados por la guerra fría con el potencial de llevar a cabo observaciones militares. Al principio de la carrera espacial, la antigua ideología de la ciencia pura ya era insostenible. Los científicos podían engañarse a sí mismos pensando que aceptaban fondos

del gobierno para llevar a cabo sus propias investigaciones, pero la ciencia se había militarizado, y la política militar se había convertido en científica. Las decisiones del gobierno eran guiadas por las posibilidades de la ciencia, y el tipo de conocimiento generado por los científicos sufría la influencia de los requisitos de los políticos. Esto no quiere decir que la información producida por la ciencia militarizada sea errónea, sino que es distinta de la que se hubiese producido en otras circunstancias. Por ejemplo, la rivalidad internacional provocaba el desvío de fondos hacia la investigación de técnicas de vigilancia: la situación durante la guerra fría exigía satélites de reconocimiento y cámaras de precisión. Durante la década de 1960, la Tierra pudo verse por primera vez desde una posición estratégica en el exterior; las imágenes del globo terráqueo como una esfera suspendida en el espacio dejaron notar su influencia en la investigación geofísica y cambiaron para siempre la forma en que los seres humanos percibían el planeta que era su hogar.

Mientras se intensificaban las campañas de propaganda, los científicos soviéticos se anotaron el primer asalto con la puesta en órbita del Sputnik. Los políticos soviéticos asestaron también un golpe diplomático al anunciar su éxito en una recepción del IGY en la embajada soviética en Washington. El rival americano del Sputnik seguía en tierra y, aunque su sofisticación tecnológica podía servir de consuelo a los científicos, el hecho de ocupar el segundo lugar afectó a la reputación de la nación. Uno de los mayores impactos del proyecto Sputnik fue persuadir al gobierno norteamericano de la necesidad de destinar gran cantidad de fondos a sus propios programas de educación, defensa e investigación científica, con el objetivo último de llegar a la Luna. Para ganarse a los opositores que protestaban, no solo por el gasto, sino por la escalada de hostilidades, los líderes gubernamentales destacaban los beneficios que podían derivarse de la investigación espacial. Muchos de ellos eran imposibles de predecir *a priori*, pero se tradujeron no solo en robots y equipos microelectrónicos, sino también en procesos de liofilización de comida, sartenes antiadherentes y gafas de esquí antivaho. La administración norteamericana se hallaba embarcada en una apretada carrera hacia la Luna que potenciaría el orgullo nacional, amén de desviar la atención de otras decisiones políticas menos atractivas, como la guerra de Vietnam.

Para los norteamericanos más chovinistas, el principal objetivo de la carrera lunar era llegar allí antes que nadie. Desde su punto de vista, la carrera no empezó con buen pie. Los científicos de la Unión Soviética, bajo las férreas órdenes del presidente Kruschev, aspiraban a mantener su posición

dominante, y lograron una rápida serie de triunfos: su sonda no tripulada llegó a la Luna, los perros rusos superaron a los chimpancés norteamericanos en ser los primeros animales en el espacio y Gagarin, seguido de cerca por una mujer soviética, entró en órbita. Pero entonces su ritmo disminuyó. Después de varios lanzamientos que acabaron en desastre, los gobernantes soviéticos empezaron a mostrarse renuentes a gastar tanto dinero en una competición que era posible que perdieran. No era fácil convencer a las naciones pobres de que el comunismo estaba comprometido con la mejora tecnológica si una gran parte de los limitados recursos disponibles se invertían en los vuelos espaciales.

En Estados Unidos, los críticos estaban horrorizados por el inmenso coste del programa espacial, que suponía apartar fondos de los programas sociales, pero sus llamadas de colaboración en lugar de competición fueron sofocadas. Cuando dos astronautas norteamericanos llegaron a la Luna en 1969, el gobierno procuró exprimir el hecho al máximo para obtener toda la publicidad posible. Como el vuelo de Gagarin, el alunizaje representó una esperada oportunidad de propaganda. Fotografías como las de la Figura 58**[f58]** se recibieron en todo el mundo, mostrando la pedregosa superficie de la Luna con huellas y sombras de los astronautas que se paseaban por el exterior de su futurista nave. La primera frase pronunciada en la Luna fue cuidadosamente planeada con antelación para presentar aquel logro como un hito de la humanidad, no de Estados Unidos: «Este es un pequeño paso para el hombre, pero un gigantesco salto para la humanidad». Sin embargo, la bandera que se muestra aparentemente ondeando en la brisa (se había fabricado en un material rígido para compensar la falta de atmósfera) es la de las barras y estrellas, y aunque la placa que los astronautas dejaron en la superficie proclamaba «Hemos venido en paz en nombre de toda la humanidad», estaba redactada únicamente en inglés y surgía de la rivalidad. El proyecto lunar, llevado a cabo en conflicto directo con la URSS, generó como resultado secundario dispositivos militares como satélites espía, redes de comunicaciones y sistemas de defensa.

A pesar de la retórica, la paz mundial no parecía estar más cercana después de tan simbólico alunizaje. La competición no solo prosiguió, sino que se hizo mayor; antes del final del siglo, varios países habían puesto en órbita sus propios satélites y estaban trazando planes para lanzarse a explorar el Sistema Solar, una zona aún no explotada para la rivalidad global. En estas luchas por el prestigio internacional, incluso las naciones pequeñas estaban dispuestas a gastar cantidades extravagantes de dinero para poner de

manifiesto su independencia y su modernidad. Los gobiernos individuales se embarcaron en sus propios programas nucleares, empujando al mundo cada vez más cerca de su destrucción. Como dijo el ministro de Defensa francés en 1963, «o eres nuclear o eres insignificante»[116].

Como Francia, países de todo el mundo empezaron a comprar energía nuclear para obtener poder político. La devastación causada por las bombas norteamericanas en Japón había detenido temporalmente la investigación nuclear. Muchos físicos habían quedado tan horrorizados por el resultado de su trabajo durante la guerra que se unieron en grupos de presión, decididos a informar de los peligros de la guerra nuclear y a deshacerse del control militar. Sin embargo, otros prosiguieron con su trabajo en defensa, fascinados por sus descubrimientos atómicos y convencidos de que la construcción de bombas mejores era esencial para el mantenimiento de la paz.

En Estados Unidos, Edward Teller, un judío húngaro que había trabajado con Fermi durante la segunda guerra mundial, haciendo caso omiso de las reservas de sus colegas insistía en que el poder explosivo de los fenómenos nucleares podía aumentar su eficacia si se imitaban los fenómenos que tienen lugar en el interior del Sol. En las bombas de fisión lanzadas sobre Japón, la energía liberada procedía de la división de átomos de gran tamaño. Teller proponía construir un arma más potente mediante la fusión, es decir, forzando a que átomos muy pequeños se uniesen y liberasen energía. Cuando los sistemas de espionaje norteamericanos revelaron que Rusia había iniciado un proyecto para construir su propia bomba, el gobierno dio su visto bueno para la superbomba de hidrógeno de Teller. Los científicos del ejército de Estados Unidos convirtieron el Pacífico Sur en un campo de pruebas y detonaron allí explosiones nucleares cuyos efectos sobre los habitantes de las islas locales y los pescadores japoneses fueron más horrendos de lo que se había previsto. Decididos a mantener su ventaja inicial e impedir que otros países construyesen bombas, Estados Unidos impuso restricciones a la distribución de material radiactivo, hasta el punto de que los científicos de otros países no podían llevar a cabo experimentos ni desarrollar terapias médicas. En respuesta a esta agresiva conducta, otros países empezaron a establecer sus propios programas nucleares, y la posibilidad de guerra empezó a parecer cada vez más cercana. Para destacar los riesgos de aniquilación de toda la raza humana, los físicos norteamericanos inventaron el Reloj del Juicio Final, un simbólico reloj cuya esfera no tiene cifras, pero que señala una hora próxima a la medianoche. En respuesta a las crisis políticas, el minutero del reloj se acerca o se aleja de la posición vertical definitiva. En 1953, después

de los ensayos termonucleares de las superpotencias, se hallaba a solo dos minutos de las doce; se retiró a doce minutos después de la firma del tratado de Prohibición de Pruebas Nucleares en 1963, y volvió a situarse a tres minutos en la década de 1980, con el proyecto de la «Guerra de las galaxias». El margen de seguridad se situó a la máxima distancia durante la década de 1990, con el final de la guerra fría, pero volvió a estrecharse a medida que otros países empezaron a hacer ensayos de sus propias armas.

La destrucción global parecía inminente. Entonces, ¿por qué no tuvo lugar? Una posible respuesta es que el objetivo principal no era el ataque, sino la disuasión. Mostrar la capacidad de contraatacar era una medida necesaria para impedir que alguien lanzase el primer misil; así, en estas batallas de faroles y contrafaroles, las naciones mostraban su poder revelando la información necesaria para que se supiese que estaban realizando pruebas. Había otras estrategias diplomáticas en juego. El objetivo de algunas instalaciones nucleares era más la exhibición que el uso. En la India, por ejemplo, la función política de los reactores nucleares era similar a la de las presas hidroeléctricas y las plantas metalúrgicas: instalaciones tecnológicas esenciales para impresionar a los ciudadanos de la nación y celebrar su reciente independencia del poder británico. La energía nuclear se promocionaba también como un agente de paz, no de guerra. Al tiempo que los estadistas norteamericanos aprobaban los ensayos nucleares sobre Bikini, alardeaban también de la revolución que los avances en física nuclear supondrían en la agricultura, la medicina y la industria. La energía atómica, prometían, impulsaría al mundo.

Y sin embargo, incluso las aplicaciones pacíficas de la energía atómica estaban impregnadas de maquinaciones políticas y no existía un plan uniforme de desarrollo. Aunque Estados Unidos relajó sus estrictos controles y empezó a diseminar productos nucleares, esta política no respondía a altruismo científico, sino a intereses propios. Al dispensar conocimientos en tecnología atómica, Estados Unidos no solo se mostraba como una nación generosa, sino que incrementaba los beneficios de sus propias industrias y lograba aliados para consolidar su dominio global. Las redes de poder internacionales se agitaron cuando los países africanos y asiáticos decidieron luchar por sus propios objetivos políticos, forzando su participación en los debates políticos internacionales mediante la explotación de su capacidad nuclear y de sus reservas de uranio. Las naciones europeas seguían agendas diversas. Gran Bretaña, por ejemplo, empezó a construir centrales nucleares con entusiasmo, pero una combinación de enredos administrativos y la toma

de conciencia de los peligros a largo plazo la hicieron detenerse. Francia empezó siguiendo el ejemplo de Gran Bretaña, pero pronto la superó hasta llegar a generar tres cuartas partes de su electricidad mediante energía atómica.

Las luchas de poder de la guerra fría convirtieron a la propia ciencia en un instrumento político. En maniobras diplomáticas y negociaciones comerciales, el conocimiento científico constituía una poderosa arma para las naciones deseosas de establecer su independencia. Como declaró el primer ministro hindú Jawaharlal Nehru, la bomba atómica había demostrado que el poder económico y militar «surge de la ciencia, y si la India aspira a progresar y convertirse en una nación fuerte, no superada por nadie, debemos hacer avanzar nuestra ciencia[117]». Algunas de las regiones más pobres sacaron provecho de su ubicación geográfica y se convirtieron en fuentes indispensables de datos científicos mediante la construcción de observatorios en lo alto de montañas libres de contaminación o en favorables ubicaciones cercanas al ecuador. Las excolonias más ricas, como Australia o Canadá, concentraron sus esfuerzos en la construcción de instalaciones de investigación de alta tecnología que se manejaban desde Gran Bretaña o Estados Unidos sin ingerencia local. Una táctica más tortuosa consistía en boicotear los proyectos internacionales: los científicos podían ejercer presión política negándose a colaborar con investigadores de determinados países. Tras el fin de la guerra fría, la rivalidad manifiesta entre Estados Unidos y la Unión Soviética languideció, pero la ciencia seguía siendo el agente generador de la energía que alimentaba la política mundial.

6 - Medio ambiente

Gloria sin fin al celo incansable
del anónimo hombre que inventó la rueda;
pero ni una palabra para el alma del infeliz
que, con precaución, inventó el freno.

Howard Nemerov, «To the Congress of the United States, Entering Its Third Century» (1989)

Cuando el explorador francés Louis de Bougainville pasó por Tahití en 1768, escribió con entusiasmo: «Me vi transportado al Jardín del Edén; cruzamos un terreno cubierto por hermosos árboles y entrecruzado por riachuelos… En todos los lugares hallamos hospitalidad, gracia, gozo inocente y felicidad en todos sus aspectos»[118]. Aunque los visitantes europeos pronto corrompieron este paraíso terrenal con sus aparatos y sus enfermedades de transmisión sexual, siguieron considerando la región del Pacífico como una idílica Arcadia. Las actuales inquietudes sobre la supervivencia del planeta han reavivado esas románticas visiones de una era dorada ya pasada en la que reinaba la armonía natural, lejos de la amenaza de los agujeros en la capa de ozono y las especies en extinción.

Sin embargo, la conservación de la pureza del medio ambiente no es tan simple como puede parecer. Para empezar, una buena parte de la naturaleza no es natural: escenas que parecen eternas son, en realidad, producto de la mano del hombre. Gran Bretaña, por ejemplo, estaba originalmente cubierta por un denso bosque, y no se parecía demasiado a las versiones idealizadas como la que se muestra en la Figura 59[f59], un póster de la segunda guerra mundial. El paisaje de aspecto imperecedero de amplios campos abiertos data únicamente del siglo XVIII, cuando los grandes terratenientes decidieron hacer más rentables sus granjas eliminando las pequeñas franjas de terreno asignadas a familias individuales. Estos reformistas agrícolas no solo no eran conservacionistas, sino que hicieron caso omiso de las protestas que los acusaban de diezmar la vida rural tradicional para crear los pastos que actualmente caracterizan la imagen pintoresca de Gran Bretaña.

La protección del entorno podría parecer un ideal universal, pero es una cuestión política adoptada por grupos muy dispares. Mientras esta propaganda de guerra urgía a los británicos leales a su país a luchar por su soleada e imaginaria campiña, sus enemigos del otro lado del Canal (que aquí apenas se aprecian en la distancia) invocaban a la Naturaleza para apoyar la causa nazi. Adolf Hitler era vegetariano, su régimen reforestaba tierras cultivables, distribuía medicamentos de hierbas y daba soporte a los programas de investigación en terapias naturales. Su mano derecha, Hermann Goering, ahora tristemente célebre por haber fundado la Gestapo y los campos de concentración, era también un pionero del ecologismo. Después de que los campos polacos quedasen devastados por la ocupación alemana, Goering repobló sus recién creados parques con animales que habían sido nativos de la región, incluido un rebaño de soberbios bisontes (un poderoso emblema teutónico) criados con las técnicas más modernas de los eugenistas posdarwinianos. A pesar de sus campañas para el genocidio de seres humanos, Goering manifestaba que este bosque primigenio era una arboleda sagrada cuyos animales debían permanecer intactos.

La naturaleza suele ser más bonita cuando es artificial. Por eso el jardinero Capability Brown creaba apacibles paisajes británicos excavando lagos, plantando árboles y moviendo pueblos enteros con sus habitantes. El naturalista John Muir quedó cautivado por las serenas praderas californianas, pero decidió ignorar la influencia de los ganaderos indios que llevaban siglos incendiando el bosque original. El artista James Audubon amasó una pequeña fortuna vendiendo exóticos cuadros de aves, que elaboraba cuidadosamente en su estudio para simbolizar los valores norteamericanos de fuerza y libertad mientras se remontaban contra un fondo de lejanas montañas. Y sin embargo, Audubon no era conservacionista, sino un entusiasta cazador obsesionado con conseguir las rarezas necesarias para completar su colección y al que no le importaba el peligro de extinción de las especies amenazadas.

La llamada de la naturaleza salvaje es algo bastante reciente. Durante milenios fue algo contra lo que las personas luchaban para labrarse una vida cómoda en un entorno hostil. La supervivencia dependía de la domesticación de la Naturaleza, y las estériles montañas y los densos bosques solo se consideraban adecuados para los parias de la sociedad, los pecadores desterrados del Jardín del Edén. Estos abruptos territorios únicamente empezaron a ponerse de moda hace doscientos años. A medida que los productos de la civilización empezaban a parecer menos atractivos, los viajeros románticos describían sus éxtasis cuasirreligiosos derivados de la

contemplación de la belleza sublime de escarpadas gargantas y de sombrías arboledas. Después de aventurarse por otros continentes, relataban que habían retrocedido en el tiempo, hallando primitivas sociedades cuyas vidas eran más simples y puras.

Este doble anhelo de lo sublime y lo primitivo se manifestó con especial intensidad en Estados Unidos. Durante el siglo XIX, los escritores románticos imaginaban escenas de pioneros haciendo retroceder la línea entre lo salvaje y lo civilizado en su avance hacia el oeste. Estas visiones triunfales quedaban manchadas por la nostalgia de la pérdida de contacto de los norteamericanos con sus orígenes inmigrantes a medida que el progreso borraba las experiencias más auténticas de los rudos colonos de los primeros tiempos. Para resolver este sentimental dilema, los naturalistas emprendedores establecieron los parques nacionales, con una doble finalidad: ofrecer santuario para los refugiados del capitalismo y servir de monumentos al espíritu pionero de Estados Unidos.

Muir, un granjero nacido en Escocia al que se considera uno de los fundadores del ecologismo, se hizo famoso cuando decidió convertir Yosemite en un parque natural hecho por el hombre. Su intención era que el parque nacional tuviese aspecto primario y salvaje, aunque nunca hubiera existido en la forma en que él lo diseñó. Ajenos a la ironía de la misión a la que se habían encomendado, Muir y sus contemporáneos trabajaron con fervor bíblico, no para simular las lúgubres realidades de la supervivencia en la frontera, sino para resucitar el Jardín del Edén original. Pero la fabricación de rincones de armonía deshabitados implicaba el traslado forzoso de los residentes indígenas, muchos de los cuales fueron masacrados o condenados a la miseria en reservas. Para garantizar el acceso seguro e impedir a la naturaleza que arruinase las vistas cuidadosamente creadas, los conservacionistas construyeron caminos discretamente camuflados y planificaron programas de mantenimiento continuo.

El restablecimiento de un pasado natural imaginario siempre ha sido un asunto costoso. También lleva consigo ingerencia y opresión: la expulsión de los indios americanos de Yosemite, la destrucción de las granjas familiares para crear espacios, la reubicación de pueblos… Actualmente, los ecoturistas privilegiados que viven en ciudades hacen campaña para la conservación de las especies en peligro y para el mantenimiento de amplias extensiones de terreno natural agreste en las que poderse relajar de las tensiones urbanas. La preservación de la biodiversidad puede parecer un ideal más valioso y científico que la apuesta de Muir por un paraíso terrenal. Y sin embargo, igual

que en Yosemite, la creación de zonas de naturaleza virgen deshabitadas ha llevado consigo la expulsión de los habitantes locales. En el interés de la conservación, muchas víctimas de la reubicación involuntaria —thai, keniatas, indios del Amazonas— se han convertido en refugiados del conservacionismo y se han visto confinados a míseros campos.

La paradoja que implica todo esto es que las personas también forman parte de la naturaleza. En 1964 se aprobó una ley de conservación en Estados Unidos que definía la naturaleza agreste como un lugar en el que «el hombre es un visitante que no permanece»; sin embargo, si se excluye a las personas de la naturaleza, esta se convierte intrínsecamente en artificial. En la Figura 59, el hombre se mezcla con la campiña, y forma parte de la herencia natural de Inglaterra tanto como los árboles o los animales. El solitario pastor, cruzando la escena de colinas redondeadas, conduce su rebaño de ovejas, una imagen llena de simbolismo cristiano. En la Biblia, Dios dio a los seres humanos una doble responsabilidad: ser los guardianes del mundo, y explotarlo para su propio beneficio. Este confuso mensaje sigue provocando dudas sobre el medio ambiente.

Para expresar este conflicto de un modo científico, el impulso de conservar se contradice con la lucha competitiva por la supervivencia implícita en la evolución humana. Esta herencia darwiniana se interpretó de diversas formas durante la segunda mitad del siglo XIX. Los capitalistas acaudalados justificaban sus tácticas feroces recurriendo al mantra acuñado por los discípulos de Darwin: «la supervivencia del más apto». Sin embargo, el propio éxito de esta cruel frase hizo que sus críticos centrasen su atención en la otra cara de la moneda: la explotación. En Alemania hizo su aparición un darwiniano de una índole muy distinta: Ernst Haeckel. Mientras los ecologistas norteamericanos intentaban resucitar un paraíso aún no corrompido, Haeckel ponía en marcha un enfoque menos opresivo, más holístico, de la biología, que ejerció una gran influencia en posteriores movimientos ecologistas.

La ciencia de la ecología fue fundada por Haeckel, que inventó la palabra en 1866. Aunque actualmente lleva asociado un matiz moral —el detergente en polvo para la ropa ecológico es más virtuoso, aunque también más caro—, la ecología empezó siendo simplemente el estudio de las relaciones entre los seres vivos y su entorno. Como «economía», tiene su origen en la palabra griega que significa la casa que ocupa una familia, y Haeckel sugirió que todos los organismos de la Tierra coexistían como una sola unidad integrada, compitiendo entre sí pero también ofreciéndose ayuda mutua. Según la

versión de Haeckel de la evolución de Darwin, para que el ser humano prospere, deberá respetar las leyes de este sistema universal en lugar de intentar dominarlo. Este punto de vista libre de explotación cautivó a los discípulos de Haeckel, sobre todo en Alemania, en donde sus místicas filosofías intentaban recuperar la dimensión espiritual del Universo físico.

Los físicos también se interesaban cada vez más por el futuro de la Tierra. Con el objetivo de aumentar la eficacia de los equipos de las fábricas (para hacerlas más rentables), formularon las leyes de la termodinámica, que establecen matemáticamente que, a menos que haya alguna entrada desde el exterior, la cantidad total de energía disponible para su uso en un sistema disminuye de forma inevitable. Cuando empezaron a concebir el propio Universo como una inmensa máquina independiente, los científicos se dieron cuenta alarmados de que era posible que se detuviese. En el peor de los casos, todo estaría uniformemente frío, y la información dejaría de fluir; para decirlo de forma más técnica, el desorden de la entropía habría llegado a su máximo. Para ralentizar el camino hacia el deterioro final y proteger el futuro, los físicos hicieron campaña por la reducción de residuos y por la conservación de los recursos no renovables.

Durante la primera mitad del siglo XX, los ecologistas sintetizaron estas propuestas biológicas y físicas para crear una nueva visión de la naturaleza como una gran máquina económica. Tomando prestado el lenguaje de la industria, inventaron un nuevo vocabulario ecológico: empezaron a hablar de cadenas tróficas, cuyas raíces se hallaban en los más humildes de los obreros de la fábrica de la Tierra —bacterias y plantas—, que ascendían por redes de productores animales hasta llegar a los seres humanos, los consumidores que ocupaban el nivel más alto. Concebían la energía como un agente de intercambio, el equivalente natural al dinero que impulsa la economía humana, y sustituyeron las comunidades colaborativas de organismos por ecosistemas, en los que las plantas se abastecen de energía solar y la envasan para poder almacenarla y tenerla disponible más adelante. Estos conceptos, que actualmente se han hecho habituales en geopolítica, tienen su origen en los microestudios de los ecologistas en los bosques junto al Támesis y en los campos de maíz de Illinois.

Después de visualizar el mundo como una máquina, parecía no solo correcto, sino incluso natural, que el ser humano interviniese para hacerla más eficiente. Una de las formas era aumentar la productividad natural mediante la manipulación tecnológica. Los ingenieros construyeron presas y sistemas de irrigación y los expertos agrícolas pidieron ayuda a la industria química para

producir pesticidas que permitieran a los granjeros incrementar su producción y, por tanto, sus beneficios. No pasó, no obstante, mucho tiempo antes de que los científicos con mayor conciencia ecológica empezasen a realizar estudios que destacaban las repercusiones de la eliminación de los insectos que se alimentan de las cosechas, o de los riesgos de inundar algunas zonas y dejar otras privadas de agua. Estos resultados se emplearon para resaltar los peligros de las políticas de corto plazo que trataban de convertir la naturaleza en un conjunto de máquinas que trabajaban para lograr el máximo rendimiento.

Estas primeras protestas aparecieron principalmente en artículos académicos, pero cuando los objetores hicieron públicas sus opiniones, su impacto se incrementó. El entorno se convirtió en una cuestión candente, no solo por la modificación de las actitudes de los científicos, sino por la ampliación de la influencia de los medios de comunicación, en especial de la televisión, un nuevo soporte publicitario que se unlversalizó durante el último tercio del siglo xx. Los científicos de muchas disciplinas aprovecharon la oportunidad para promocionarse ante un público abundante y curioso; los temas más esotéricos —agujeros negros, decodificación genética, teoría del caos— se hicieron familiares (en un nivel superficial) a través de documentales y artículos de revistas. La influencia, sin embargo, funcionaba en ambas direcciones. Esta publicidad aumentó la vulnerabilidad de los científicos a las críticas, de modo que sus planes y aspiraciones quedaban sujetos a nuevas restricciones. Los investigadores se dieron cuenta de que, para conseguir respaldo financiero, no solo era necesario demostrar la validez de un proyecto científico, sino también demostrar su transcendencia política, comercial o ética. Poco a poco aprendieron a manipular a los medios de comunicación y garantizar su financiación mediante rimbombantes anuncios de novedades revolucionarias o de catástrofes inminentes.

Los primeros debates sobre la gestión del planeta Tierra los desencadenó Rachel Carson, una bióloga marina que trabajaba para el gobierno norteamericano. En 1962, Carson publicó *Primavera silenciosa*, un título pensado para evocar un posible futuro próximo en el que todas las aves del mundo hubieran desaparecido víctimas de las sustancias químicas tóxicas. Carson escribía con una prosa poética, pero sus datos eran rigurosos y sus argumentos científicos, fáciles de seguir. También explotó el poder de la brusquedad: «Por primera vez en la historia del mundo», advertía a sus lectores, «todos los seres humanos están sometidos al contacto con sustancias químicas peligrosas, desde su concepción hasta su muerte»[119].

Silent Spring supuso un impacto enorme. Aparte de sus relatos de terror sobre los *sprays* carcinogénicos, las reservas de agua envenenadas y la caída en los índices de natalidad, el libro lanzaba críticas más amplias sobre el poder combinado de la ciencia y el estado durante la guerra fría. Alineada con otros movimientos de protesta de la década de 1960, Carson exhortaba a los ciudadanos a ejercer un mayor control sobre sus propios destinos. Desde su posición de empleada de la administración norteamericana, escribía con la autoridad de alguien que conoce el problema desde el interior cuando atacaba el fracaso de los políticos para enfrentarse a las conclusiones de los científicos que actuaban por interés propio. Como explicaba Carson, los mismos gobiernos que permitían que se polucionase la atmósfera con DDT aprobaban programas nucleares que generaban radiación invisible. Como era de esperar, los líderes políticos y de la industria unieron sus fuerzas para desprestigiar a esta presuntuosa mujer que había osado criticar a los poderes establecidos presentando información científica de una forma que todos podían comprender.

Las campañas para la protección del entorno se unieron a los movimientos de oposición contra el gobierno convencional. En Alemania, por ejemplo, el Partido Verde era una poderosa fuerza política en la década de 1970, a pesar de sus vergonzosas relaciones históricas con el apoyo del partido nazi a los movimientos de retorno a la naturaleza. De un modo más general, la decepción provocada por la ciencia estatalizada hizo que los investigadores reconociesen la importancia de obtener para sus proyectos no solo el respaldo oficial, sino también el apoyo del público. En la década de 1970, los debates acerca del medio ambiente tenían lugar en la prensa y en la televisión. Por ejemplo, James Lovelock, un químico especializado en polución, logró hacerse inmensamente famoso con su hipótesis de Gaia, a pesar de la desaprobación de los científicos ortodoxos. En su modelo interactivo, Lovelock concebía la Tierra como un gigantesco sistema autorregulado, un ser cuasiorgánico capaz de protegerse a sí mismo de los daños provocados por los seres humanos. Con una evocadora envoltura espiritual, la alternativa holística de Lovelock a la ciencia materialista y sus productos tecnológicos obtuvo una inmensa popularidad.

La mayoría de los científicos preferían, en cambio, el punto de vista mecánico tradicional que tantos éxitos había reportado anteriormente: dividir el mundo en pequeños componentes susceptibles de ser abordados por separado. La metodología de fragmentar un problema en partes manejables había funcionado muy bien en los laboratorios, pero demostró no ser tan

eficaz al tratar con fenómenos globales. Consideremos, por ejemplo, el tiempo atmosférico. Los meteorólogos se dieron cuenta de que analizar la atmósfera como si se tratase de pequeñas unidades independientes no era muy útil, ya que la mínima perturbación podía dar al traste con sus lógicas predicciones. Llegaron así a la conclusión de que el tiempo estaba dominado por el caos, de forma que —según el criterio del conocedor del medio ambiente— el aleteo de una mariposa en Brasil podía causar un tornado en Texas. Para enfrentarse a este ruido no deseado, los climatólogos aplicaron la fuerza bruta de la potencia de cálculo de los ordenadores, un recurso que empezó a estar disponible en la década de 1970. Sin embargo, aunque idearon programas de simulación del comportamiento de la atmósfera cada vez más complejos, eso no significaba necesariamente que fuesen mejores: los modelos digitales se sobrecargaban de mejoras y correcciones y, al mismo tiempo, de errores indetectables. Los críticos señalaban que, al tiempo que su estructura virtual se acercaba a la de la propia Tierra, los modelos se harían tan voluminosos y torpes como la propia realidad.

Para los ecologistas, la forma más eficaz de obtener el apoyo del público y el dinero del gobierno era predecir catástrofes. Un científico de la NASA explicaba al público de la televisión: «Es más fácil obtener fondos si puedes mostrar pruebas de desastres climáticos inminentes… A la ciencia le convienen los argumentos de terror»[120]. Durante la década de 1970, los expertos en el clima estaban convencidos de que una nueva era glacial estaba a punto de suceder, e insistían en que los análisis estadísticos de los datos históricos demostraban que el planeta volvería a congelarse y a quedarse inactivo. Veinte años más tarde, su visión de un futuro helado había sido desplazada por la del calentamiento global. Según las últimas interpretaciones, los efectos generados por dos siglos de industrialización están anulando las variaciones naturales del clima de la Tierra. A finales del siglo XX, los debates sobre el calentamiento global eran cada vez más virulentos, al tiempo que aumentaban las acusaciones de intereses creados. Los expertos discutían sobre los méritos relativos de distintas técnicas especializadas; pero, al mismo tiempo, las motivaciones se valoraban en el mismo nivel que los hechos. Los no científicos querían comportarse como ciudadanos globales preocupados por el futuro, pero desconfiaban de las declaraciones de los científicos, cargadas de conclusiones contradictorias y de agrias denuncias.

Durante los últimos cincuenta años, los científicos con conciencia medioambiental han averiguado que la mejor forma de atraer la atención del

público y la financiación de los gobiernos es pronosticar un futuro apocalíptico: devastación nuclear, bombardeo de meteoros, era glacial inminente, calentamiento global. Los científicos modernos que vaticinan el futuro parecen cubrir las mismas necesidades psicológicas que los profetas religiosos que predicaban que el fin del mundo representaba el castigo de Dios a los pecadores. En ese sentido, el calentamiento global es más satisfactorio que la era glacial, pues la culpa puede atribuirse a la raza humana. A diferencia de los desastres naturales, se responsabiliza del efecto invernadero y de la reducción de la capa de ozono a las actividades industriales que impulsan el moderno capitalismo basado en la obtención de beneficios. Según esta retórica, las personas pueden ser las culpables de la destrucción de un mundo del que ellas mismas dependen, pero los científicos les ofrecen una posibilidad de redención mediante la modificación de su comportamiento. Al conseguir la cooperación del público para «pensar en verde», los científicos dejan de ser agentes de la destrucción para convertirse en una especie de salvadores seculares.

7 - Futuros

Pero a mi espalda puedo oír
el carro del tiempo que se apresura:
y más allá de nosotros veo
desiertos de vasta eternidad.

Andrew Marvell, *To his coy mistress* (1681)

La predicción del futuro es un negocio no exento de riesgos. Hacia finales del siglo XIX, Western Union rechazó el teléfono calificándolo de inútil, y lord Kelvin afirmaba que era imposible que las máquinas más pesadas que el aire volasen. Su errónea prudencia fue, sin embargo, superada por el presidente de IBM, que en 1943 declaró que preveía un mercado mundial para cinco ordenadores. Los profetas tecnológicos, por otra parte, han sido a menudo excesivamente optimistas acerca de las posibilidades abiertas por los nuevos inventos. Cuando el poeta Percy Bysshe Shelley era estudiante en la Universidad de Oxford, se entusiasmó con la electricidad, pronosticando que serviría para dar calor a los pobres en invierno, mientras que un ejército de globos se deslizaría silenciosamente sobre África para elaborar mapas y aniquilar de una vez por todas el esclavismo. Como muchos otros visionarios utópicos, Shelley no era aún consciente de que no basta con que algo sea técnicamente factible, sino que también es esencial la motivación política.

La mejora del futuro ha sido uno de los ideales científicos durante los últimos trescientos años. El progreso se convirtió en un factor fundamental durante la Ilustración, cuando los reformistas declaraban que la mejor forma de avanzar era dando facilidades a la ciencia. Desde aquel momento, los entusiastas científicos han asegurado una y otra vez que la inversión en investigación aumentaría la riqueza de los países y ayudaría a sus ciudadanos a vivir mejor. Y no les faltaba razón; de hecho, quizá incluso subestimaron la capacidad de la ciencia para transformar la sociedad y dominar el mundo. Aunque no es posible conocer el futuro, sí es posible pronosticar numerosas mejoras con cierta fiabilidad: la aparición de nuevos medicamentos, una

Internet más versátil, la mejora de las técnicas genéticas o la reducción aún mayor del precio de los ordenadores, que serán también más pequeños y más omnipresentes. Las personas que viven en determinados lugares disfrutan de vidas más largas y cómodas, y esta tendencia seguirá.

Pero, en algunos lugares del mundo, las condiciones se han deteriorado. Los futurólogos predicen que el propio impulso de la tecnología la hará progresar cada vez más. Así mismo, parece que algunas tendencias negativas han sobrepasado el punto de no retorno. Los recursos naturales serán cada vez más escasos, las enfermedades infecciosas proliferarán y la superpoblación en los barrios bajos urbanos crecerá aún más. El resultado neto aparente de la innovación científica ha sido la ampliación de la división entre ricos y pobres, no su reducción. En estos tiempos en los que la investigación científica está tan ligada a los intereses políticos, la forma de enfrentarse a estas diferencias se ha convertido en una cuestión global en la que participan los ciudadanos de todo el mundo.

Una y otra vez, los tecnófilos han predicho que alguna nueva invención cambiaría la conducta humana y revolucionaría la sociedad. Durante los últimos doscientos años, el mundo se ha reducido cada vez más, a medida que la aparición de barcos y trenes, luego teléfonos y radios y actualmente Internet, han facilitado las comunicaciones entre las personas. Y sin embargo, a pesar de las esperanzas de que un contacto más sencillo supondría una mayor comprensión, la paz mundial no está más próxima. La ruta tecnológica opuesta hacia la armonía global —armas cada vez más potentes para obligar a los enemigos a someterse— ha demostrado igualmente su ineficacia. Otra de las ventajas sociales que se suelen esgrimir como una de las consecuencias de las innovaciones técnicas es la igualdad. Según esta argumentación, los nuevos inventos liberan a los grupos oprimidos. En diversas ocasiones, los optimistas tecnológicos predijeron que los obreros textiles se beneficiarían de la automatización de las fábricas, que las mujeres lograrían su emancipación con las lavadoras y las aspiradoras, y que la discriminación racial desaparecería en la era de los ordenadores. Siempre en vano.

Una de las formas de predecir el futuro es representar gráficamente el número de inventos que aparecen cada año y extrapolar en el tiempo. Sin embargo, centrarse únicamente en las fechas puede ser una forma equívoca de seguir el progreso tecnológico. Otra posibilidad es considerar cuántas personas utilizan las distintas tecnologías: la aceptación puede revelar más información que la novedad. Mirando al pasado, parece claro que ni siquiera los inventos de más éxito han eliminado a los más antiguos, muchos de los

cuales han permanecido e incluso han ganado en presencia. La población de caballos norteamericana siguió creciendo mucho tiempo después de la producción en masa de coches, porque los animales se necesitaban para impulsar los equipos agrícolas. Aunque las bombas, los gases venenosos y otras destacadas innovaciones militares del siglo XX se han hecho muy populares, las armas de fuego personales siguen ocupando la primera posición en cuanto a eficacia —es decir, número de muertos—. Actualmente, a diferencia de lo que ocurría hace tres décadas, se fabrican cada año el doble de bicicletas que de automóviles.

Durante el siglo XX, los gobiernos alentaron cada vez más a sus ciudadanos a que depositaran sus esperanzas en la ciencia y la tecnología. Pero, cuando esta llegó, el futuro no siempre respondía a las expectativas. El DDT incrementó en gran medida la producción agrícola, pero destruyó la campiña; los reactores nucleares ahorraban carbón, pero los accidentes liberaban radiación; Internet prometía un acceso democrático, pero hizo prosperar la pornografía. En medicina, el invento más elogiado fue la penicilina, que en la segunda guerra mundial salvó la vida de numerosos soldados heridos. Cincuenta años más tarde, los hospitales estaban llenos de bacterias resistentes y, en Estados Unidos, se fabricaban antibióticos para usar como aditivos para fomentar el crecimiento del ganado.

Sin embargo, los indudables éxitos de la ciencia la convierten en el agente más plausible para crear un futuro mejor. Tras la segunda guerra mundial, cuando las naciones industrializadas se unieron para solucionar el problema de la pobreza en el mundo, recomendaron la ciencia como cura evidente, y pusieron en marcha planes de desarrollo para llevar a las zonas más empobrecidas del mundo un nivel tecnológico similar al suyo propio. Estos proyectos, aunque en muchos sentidos supusieron un gran éxito, no eran tan desinteresados como pueda parecer, sino que estaban impregnados de intereses políticos. Mediante la distribución de sus competencias industriales por todo el mundo, las naciones ricas consolidaron su poder. La propagación de la ciencia reforzaba la supremacía, así que los programas de desarrollo filantrópicos eran también una forma disfrazada de imperialismo.

La política científica se globalizó durante la guerra fría, cuando un nuevo participante apareció en la escena internacional: el Tercer Mundo, un término inventado en 1952. Al tiempo que el bloque occidental de Norteamérica y Europa se enfrentaba contra el Este, dominado por la Unión Soviética, otro conflicto se desarrollaba entre el «Norte» y el «Sur». Esas comillas indican, en resumen, que el mundo puede dividirse en dos: las potencias ricas e

industrializadas (originalmente en la Europa noroccidental, pero que ahora incluyen también Australia) competían por la lealtad de las naciones pobres del Tercer Mundo, muchas de las cuales (aunque no todas) se hallan en el hemisferio austral. Como ilustra la Figura 57 (la nave espacial rusa de Gagarin sobrevolando África), la ayuda tecnológica era uno de los principales bienes que se podía ofrecer para comprar esa lealtad. En estas asimétricas interacciones «Norte-Sur», la ayuda científica tenía un precio político. Aunque no era tan visible durante la guerra fría, las relaciones «Norte-Sur» eran en muchos sentidos tan transcendentales como las hostilidades Este-Oeste.

La riqueza del «Norte» garantizaba el dominio del estilo científico y tecnológico de entender el mundo que tanto éxito había tenido en las naciones industrializadas. Este engañoso *cienciacentrismo* organiza el mundo entero a su propia imagen. El problema no es que haga caso omiso de otras formas de pensar, sino que imposibilita pensar de otra forma. El mapa invertido australiano que aparece al principio de este libro (Figura 1) está pensado como protesta contra la estrechez de miras de considerar la perspectiva europea como la única posible. De forma más general, pone de manifiesto la arrogancia que subyace no solo en la geografía terrestre, sino también en los puntos de vista del Norte sobre el conocimiento y las creencias en general.

El mismo concepto de desarrollo implica, no solo que la ciencia y la tecnología modernas son intrínsecamente superiores, sino también que el «Norte» tiene la razón. Con estos errores intrínsecos, las estrategias de desarrollo para mejorar el futuro han sido incapaces de terminar con las desigualdades científicas. La distribución de aparatos de alta tecnología en países del Tercer Mundo mejoraba la imagen de los donantes poderosos, pero no era necesariamente la mejor solución contra la pobreza. La aceptación de estos regalos llevaba implícita una subordinación política, e imponía la modernidad a personas que no necesariamente la querían. Por ejemplo, Colombia y Paraguay acordaron recibir un reactor nuclear norteamericano, no porque lo necesitasen para generar energía o para detonar una bomba, sino por el deseo de mostrar su lealtad política. En lugar de desarrollarse, muchas de las naciones pobres pasaron incluso de la pobreza a la indigencia durante la segunda mitad del siglo XX.

Los proyectos de desarrollo empujaban a los países del Tercer Mundo a un estado de dependencia científica en el que se veían obligados a apoyarse en equipamientos producidos por las naciones industrializadas del «Norte». Se les negó la posibilidad de llegar a la igualdad científica, porque los únicos

proyectos de investigación que se establecían en los países más pobres se dedicaban a aplicaciones tecnológicas con beneficios sociales inmediatos. Por generosas que fuesen las donaciones, se dedicaban a aliviar la pobreza, no a crear países que pudiesen ser rivales en la investigación. Las investigaciones abstractas, la punta de lanza de la ciencia, siguieron siendo privilegio de los países ricos, que se oponían a desviar fondos a instituciones que no fuesen las suyas propias. Los proyectos educativos animaban a los niños de las naciones más pobres a estudiar ciencias, pero si pretendían seguir una carrera como científicos profesionales, se veían forzados a emigrar. La investigación científica se convirtió en un artículo de lujo que el Tercer Mundo no se podía permitir.

Los programas de desarrollo científico estaban pensados para ayudar al Tercer Mundo a ponerse a la altura del «Norte» industrializado. Sin embargo, las naciones del mundo no se unieron cada vez más, sino que divergieron, como especies en evolución condenadas a un irrevocable alejamiento. Las naciones más pobres no eran simples destinatarios pasivos de los métodos y los equipos del «Norte», sino que adaptaron lo que se les daba para seguir sus propios caminos tecnológicos hacia el futuro. En lugar de importar coches o motocicletas modernas, las personas idearon sus propios medios de transporte adaptados a las condiciones locales: *ciclorickshaws* en India y Singapur, barcas impulsadas por bombas de irrigación en Bangladesh. Las inmensas barriadas de chabolas de África y Asia pueden parecer imposibles de habitar cuando se miran desde fuera, pero se las arreglan para funcionar gracias a los inventores locales que producen nuevas versiones de materiales existentes, como el hierro corrugado, que ya apenas se usa en las naciones del «Norte», y el cemento de asbestos, prohibido en otros lugares por razones de seguridad.

Las decisiones sobre ciencia y tecnología llevaban implícita una pesada carga política. En muchos países, los fabricantes conservaron herramientas hechas a mano que precisaban de mucha mano de obra —máquinas de coser, por ejemplo— en lugar de construir costosas fábricas dependientes de equipos automáticos importados. El poder tecnológico y el político van de la mano. Mahatma Gandhi tenía la esperanza de que la producción por las masas se impusiese a la producción en masa; en la bandera de la India se puede ver una rueca de hilar, que simboliza la independencia de la industrializada Gran Bretaña. Hacia finales del siglo XX, este apoyo de la actividad individual permitió que los programadores de ordenadores hindúes se impusiesen a sus homólogos norteamericanos por su menor precio, y esta mano de obra

especializada hizo emerger a la India como fuerza política internacional a la que se debía tener en cuenta.

El más ambicioso de los proyectos de desarrollo científico fue la denominada «Revolución Verde». A mediados de la década de 1960, los gobiernos y las organizaciones internacionales decidieron enfrentarse a la pobreza en el mundo mediante la transformación de la agricultura global. Con el objetivo de eliminar el hambre y aumentar la producción de comida en las zonas más pobladas, empezaron a sustituir los métodos tradicionales por las últimas técnicas científicas. Estos filántropos económicos prometían que, con la adopción de una agricultura basada en la ciencia, las naciones del Tercer Mundo podrían sostenerse a sí mismas o incluso obtener beneficios económicos con la exportación de frutas y verduras tropicales a los países del «Norte». Aparte de introducir fertilizantes químicos y sistemas industriales de irrigación, al cabo de unos años los científicos estaban propagando el uso de semillas modificadas genéticamente por los nuevos especialistas en biotecnología.

En principio, «ingeniería genética» suena como una contradicción de términos, porque unía dos disciplinas que anteriormente se habían situado en extremos opuestos de un espectro que iba de las ciencias duras, masculinas, a las blandas, femeninas. Los biólogos se asociaron con los ingenieros con la adopción de términos como cortar y empalmar para describir los métodos que usaban para la exploración y manipulación de los grupos químicos del ADN. La modificación genética no era una novedad en sí misma. En los primeros capítulos del libro sobre evolución de Charles Darwin se describe cómo los granjeros y los criadores de palomas utilizan la cría selectiva para modificar el ganado y los pájaros para llevar a cabo tareas concretas. En cambio, los nuevos biotecnólogos alteran los genes desde el interior. E, igual que los empresarios de las fábricas, crean compañías para comercializar sus productos derivados del mundo natural.

Al principio, las soluciones científicas para acabar con la pobreza parecían funcionar de primera. En 1980, India ya era autosuficiente en trigo y arroz, mientras que otras regiones del mundo obtenían cosechas récord. La ciencia parecía responder a su reputación de proporcionar recetas milagrosas para garantizar la prosperidad. Sin embargo, la Revolución Verde ya estaba recibiendo serios ataques de críticos decepcionados con ella. Muchos escépticos advirtieron sobre los destrozos ambientales causados por esta transferencia sin precedentes de especies vegetales de un lugar del mundo a otro y sus innumerables e imprevistas consecuencias. Los efectos nocivos de

las potentes sustancias químicas introducidas para mejorar el árido suelo o enfrentarse con las plagas tropicales se transmitían a lo largo de las cadenas tróficas. Los proyectos de desviación de recursos hídricos alteraban los sistemas de drenaje existentes, de modo que, aunque algunas zonas se beneficiaban de grandes cosechas, otras padecían sequías.

La modificación genética recibió ataques especialmente virulentos. En el lado positivo, las plantas especialmente creadas para enfrentarse a las condiciones locales convertían grandes extensiones de tierra yerma en fértiles campos de alto rendimiento. Sin embargo, sucedió algo que no estaba previsto: la supervivencia de estas plantas adaptadas artificialmente llevaba asociada la desaparición de otras especies. Los oponentes destacaban la posibilidad de escenarios de pesadilla. Si las plantas cultivadas se diseñan a medida para evitar las plagas, los cruces podrían conducir a la creación de malas hierbas resistentes, capaces de proliferar sin posibilidad de control. U otra nefasta posibilidad: si una superplanta sustituye a millares de variedades distintas, se corre el riesgo de que un superdepredador aparezca en el futuro y la aniquile por completo. En Europa (pero no en Estados Unidos), los productos genéticamente modificados (GM) fueron denunciados como «Frankenfood» («comida Frankenstein»).

Además, la Revolución Verde tuvo consecuencias sociales negativas, porque su misma esencia llevaba incorporadas estructuras de poder político. En lugar de importar comida, las naciones pobres compraban ahora costosas sustancias químicas, semillas y los servicios de personal especializado necesarios para mantener su nuevo estilo de agricultura. Mientras que los beneficios de los grandes propietarios con contactos ricos se dispararon, los pequeños granjeros quedaron desposeídos de sus negocios y tuvieron que emigrar a los ya superpoblados barrios bajos de las ciudades. Los organismos GM se producían en remotos laboratorios de investigación y se enviaban hacia el «Sur», de los países ricos a los pobres, en particular de Norteamérica a Suramérica. Los beneficios financieros, en cambio, fluían en la dirección opuesta: los genes manipulados tenían su origen en plantas locales y eran transportados hacia el «Norte» para aumentar los beneficios y el prestigio de las empresas de biotecnología.

El desarrollo implica ayudar a los países pobres a adquirir por la vía rápida una igualdad financiera y científica con sus privilegiados colaboradores ricos. Sin embargo, igual que sucedía con la tecnología industrial pesada, la Revolución Verde tuvo como consecuencia cambios irreversibles que aumentaron aún más las divergencias. En todo el mundo, la

investigación científica se dedicaba a modernizar las técnicas agrícolas, pero su eficiencia aumentó mucho más y mucho antes en los países ricos, en los que los gobiernos podían permitirse el lujo de proteger a sus productores contra las importaciones baratas. Los más idealistas de entre los reformistas habían imaginado un futuro de color de rosa en el que los países pobres alimentarían al «Norte» industrializado, pero en realidad estaba sucediendo lo contrario. Por ejemplo, Estados Unidos empezó a vender trigo a la Unión Soviética y a exportar algodón en bruto a China, en donde fábricas recién establecidas lo procesaban para convertirlo en ropa para los americanos ricos.

Encontrar defectos en la ciencia es relativamente fácil; lo complicado es decidir cómo mejorar su impacto. Los reaccionarios siempre se han quejado de la decadencia de los estándares y han hecho hincapié en que el futuro solo puede empeorar. Los tecnófobos románticos arremeten contra la innovación y ansían volver a un pasado ideal imaginario, afirmando que la ciencia ha generado nuevos medios de destrucción, no solo mediante poderosas bombas, sino también al convertirse en un arma política por derecho propio. Sentados ante sus procesadores de texto en la comodidad de sus hogares con calefacción central, utilizan su visión selectiva para hacer caso omiso de las innumerables formas en las que la investigación científica ha dado como resultado beneficios imposibles de poner en duda.

El problema no es que la tecnología sea mala en sí, sino que puede convertirse con demasiada facilidad en una herramienta de dominio y coerción. Abundan las predicciones acerca de las maravillas tecnológicas que nos esperan en el siglo XXI, como los nanotranspondedores (implantes cerebrales miniaturizados diseñados para conectar a los seres humanos a redes electrónicas mundiales), los genes artificiales y las células de combustible (minúsculas baterías perpetuas basadas en interacciones químicas). Al mismo tiempo, los ecologistas lanzan dramáticas advertencias, afirmando que la raza humana se extinguirá a causa de la polución que genera a menos que se tomen medidas para impedir un mayor calentamiento global. El estudio del pasado indica claramente que la elección de un camino hacia el futuro no depende únicamente de que las ecuaciones científicas sean correctas, sino de que también lo sean las decisiones políticas.

Epílogo

Las personas siempre han intentado comprender el mundo que las rodeaba. Sin embargo, al mirar hacia el pasado parece obvio que no hay una única forma de imponer orden, aunque los esquemas más antiguos puedan parecemos extraños. Los aristotélicos medievales veían tres colores en el arco iris, mientras que Newton lo dividió en siete; antes de que los relojeros empezasen a medir el tiempo en unidades iguales, los días y las noches estaban divididos en horas de duración variable; y, aunque muchos coleccionistas ordenaban las flores según los colores o las hojas, Linneo las clasificó numéricamente según el número de sus órganos reproductivos. El sistema que uno aprende de niño parece obvio, y los demás parecen intuitivamente erróneos, por racional que haya sido su construcción.

El escritor argentino Jorge Luis Borges puso de relieve este dilema taxonómico imaginando una enciclopedia china en la que los animales se clasificaban de esta forma: (a) pertenecientes al Emperador, (b) embalsamados, (c) amaestrados, (d) lechones, (e) sirenas, (f) fabulosos, (g) perros sueltos, (h) incluidos en esta clasificación, (i) que se agitan como locos, (j) innumerables, (k) dibujados con un pincel finísimo de pelo de camello, (l) etcétera, (m) que acaban de romper el jarrón, (n) que de lejos parecen moscas[121].

Aunque parece posible imaginar situaciones de la vida real en la que alguna de estas categorías individuales podría resultar útil, esta lista ficticia está plagada de ambigüedades y superposiciones, y se burla de la universalidad a la que aspiran los clasificadores científicos.

Borges ideó esta parodia para su enigmático relato acerca de John Wilkins, un erudito del siglo XVII que decidió crear un idioma internacional para organizar el Universo en cuarenta clases, cada una de ellas subdividida en conjuntos más pequeños con sus propios símbolos de identificación. Una vez familiarizados con este método, razonaba Wilkins, los lectores serían

capaces, no solo de comprender el significado de una palabra, sino también de averiguar qué objeto o idea representaba en el esquema global de las cosas. Suena bastante bien… hasta que uno se da cuenta de que, desde una perspectiva moderna, las categorías de Wilkins son tan poco convincentes como las de la enciclopedia ficticia de Borges. Por ejemplo, hay cuatro tipos de piedra: ordinaria, preciosa, transparente e insoluble. Entonces, la pizarra ¿sería ordinaria o insoluble? Los zafiros ¿son transparentes o preciosos? Un sistema que a Wilkins le parecía universalmente válido sería inútil para los expertos en mineralogía modernos.

Lejos de ser un tipo raro aislado, Wilkins fue uno de los primeros líderes de la Royal Society, e incluso presidió la reunión fundacional. Siendo Wilkins uno de los principales responsables en la formulación del enfoque experimental de la Royal Society, podría ser considerado uno de los primeros científicos de Inglaterra. Sin embargo, si se mira en retrospectiva, es imposible encajarlo en cualquier clasificación moderna. Para empezar, era un hombre de iglesia que ocupó diversas posiciones antes de ser ordenado obispo de Chester. Asímismo, además de trabajar en su visionario idioma filosófico, Wilkins se dedicó a diversos proyectos que actualmente no serían considerados como verdadera ciencia: movimiento perpetuo, ilusiones mágicas, vocabulario naval o códigos secretos.

Tal como Borges concluye en su cuento con moraleja, todos los esquemas humanos son provisionales. Ahora que la ciencia domina el mundo, es difícil creer que hace únicamente doscientos años ni siquiera se había inventado la palabra «científico». Durante los últimos milenios, muchas gentes —babilonios y chinos, granjeros y navegantes, colonizadores y esclavos, mineros y monjes, musulmanes y cristianos, astrofísicos y bioquímicos— han contribuido a construir nuestra idea actual del cosmos. Igual que las sociedades humanas, el conocimiento nunca es fijo de forma definitiva, sino que cambia constantemente a medida que las categorías antiguas y las nuevas se disuelven y combinan. No existe garantía alguna de que la ciencia punta de hoy no vaya a representar la desprestigiada alquimia de mañana. Y sin embargo, una cosa es cierta: la ciencia ha modificado el Universo y a sus habitantes para siempre.

PATRICIA FARA (1948) es Historiadora de la Ciencia en la Universidad de Cambridge, graduada por la Universidad de Oxford y Doctora por la Universidad de Londres. Con formación inicial en ciencias físicas se especializó posteriormente en Historia y Filosofía de la Ciencia, doctorándose en el Imperial College en el año 1993. Ha sido Directora de Estudios y otros cargos del Departamento de Historia y Filosofía de la Ciencia del Clare Colllege. Y en 2016 fue nombrada Presidenta de la British Society for the History of Science, una sociedad prestigiosa y de larga trayectoria.

Destacan sus libros de Historia de la Ciencia: *An entertainment for Angels: Electricity in the Enlightenment* y *Newton: The Making of Genius*, publicados en 2002. Y *Sex, Botany and Empire: The Story of Carl Linnaeus and Joseph Banks*; *Fatal Attraction: Magnetic Mysteries of the Enlightenment*; *Science: A Four Thousand Year History*, y *Erasmus Darwin: sex, science and serendipity*, trabajos publicados en los años siguientes.

Imágenes

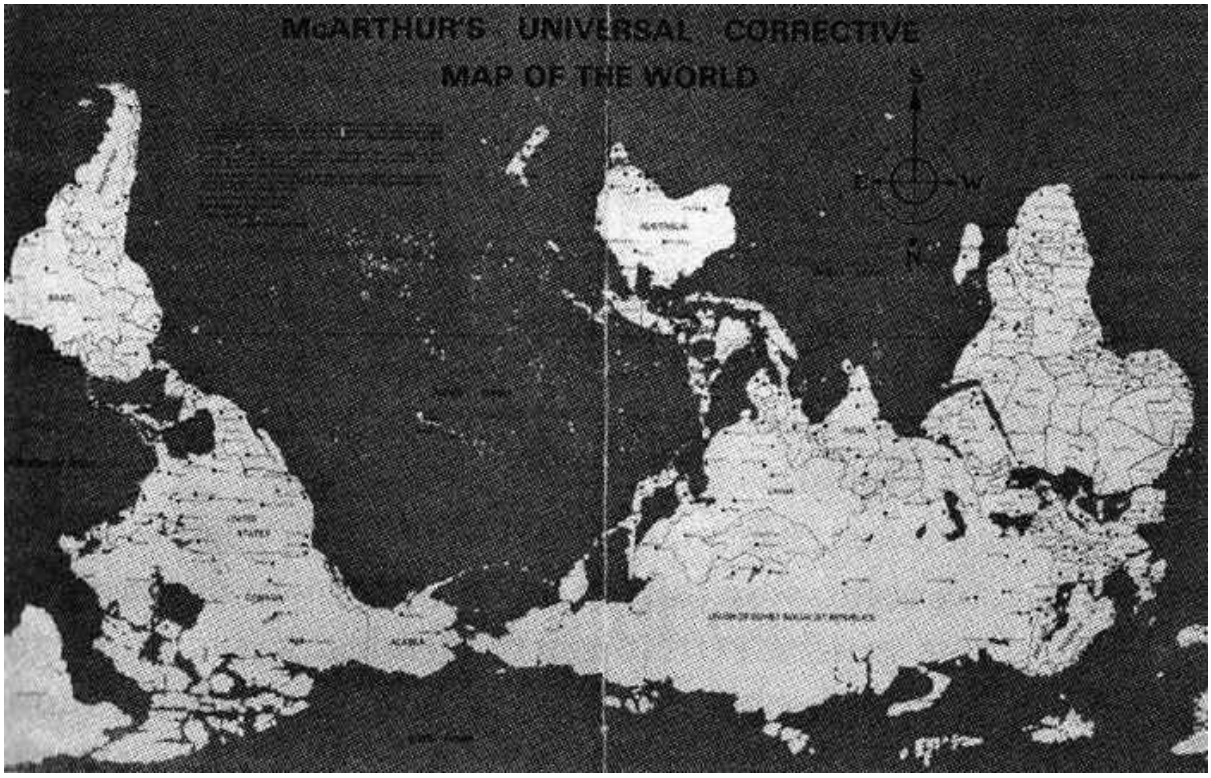


Fig. 1. Mapa correctivo universal del mundo de McArthur (1979). La ultima parte del texto dice: «Por fin el Sur esta arriba. ¡Propagad la palabra! ¡Propagad el mapa! El Sur es superior. ¡El Sur domina! ¡¡Larga vida a AUSTRALIA, SOBERANA DEL UNIVERSO!!». <<

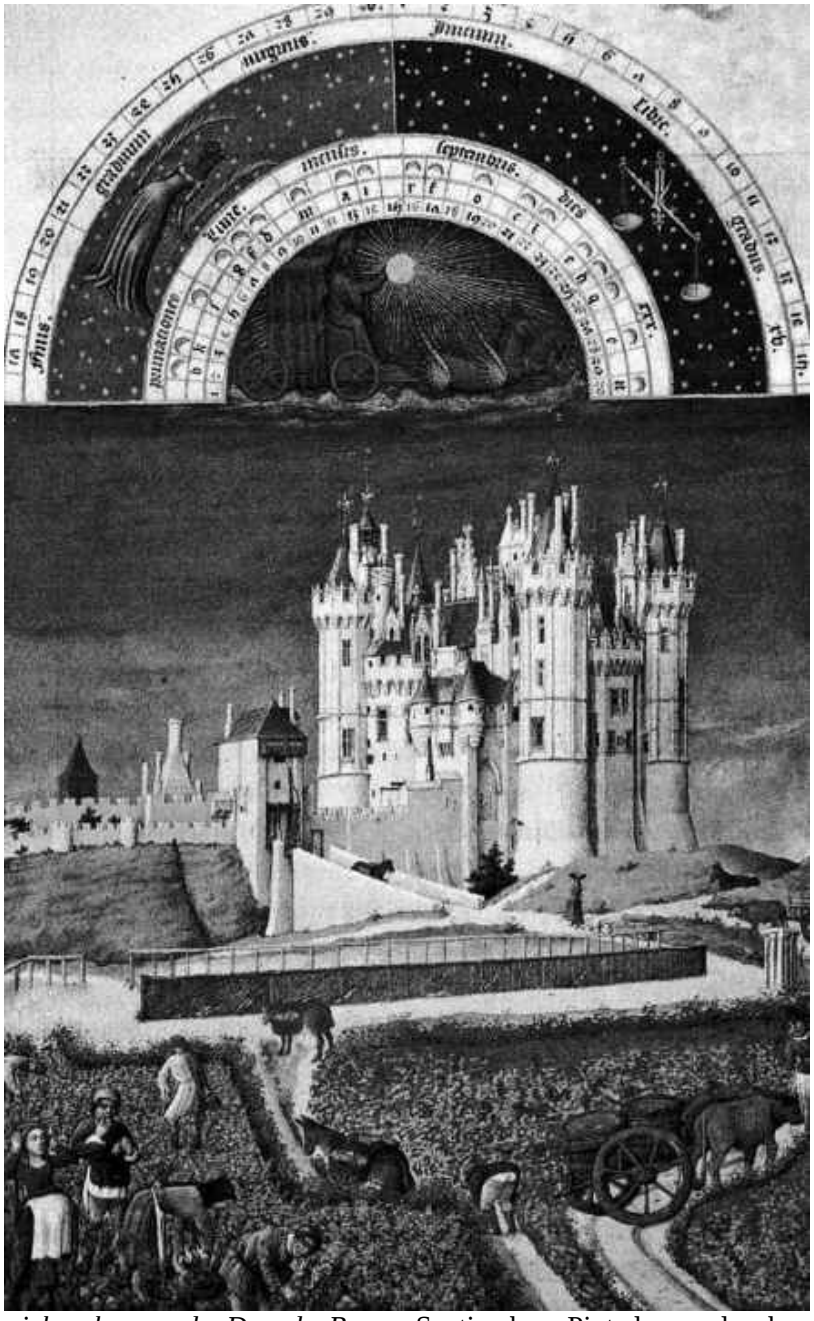


Fig. 2. *Les tres riches heures du Duc de Berry*: Septiembre. Pintado por los hermanos Limbourg c. 1412-1416. <<

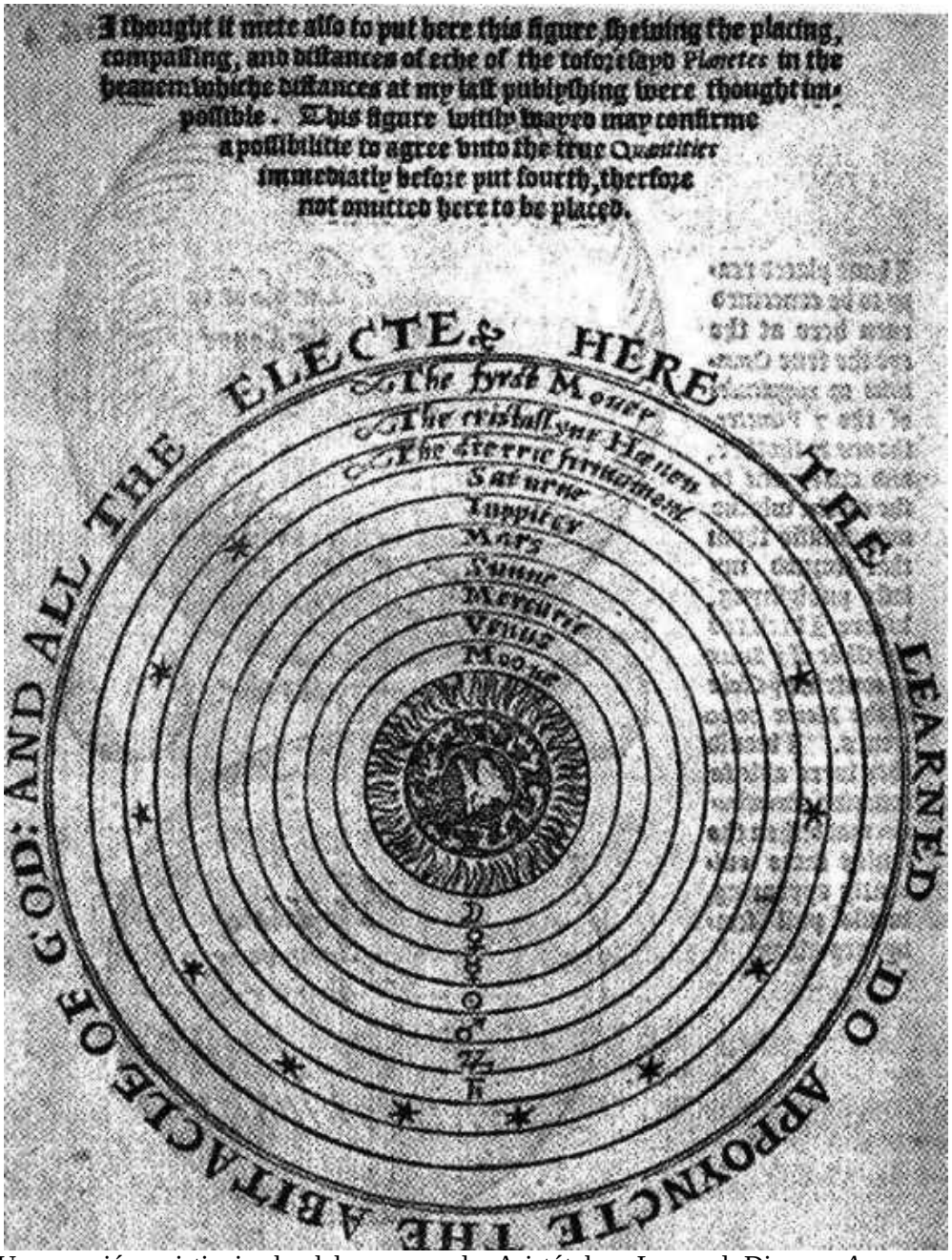

I thought it meete also to put here this figure, shewing the placing,
compassing, and distances of eche of the foresayd Planetes in the
heauen: wherthe distances at my last publishing were thought im-
possible. This figure wittily wayed may confirme
a possibilitie to agree vnto the true Quantities
immediatly before put fourth, therfore
not omitted here to be placed.
THE LEARNED DO APPROVNCE THE ARTACLE OF GOD: AND ALL THE ELECTE & HERE
The first Mouer
The cristall syne Heauen
The sterrie firmament
Saturne
Iupiter
Mars
Sonne
Mercurie
Venus
Moone
Fig. 3. Una versión cristianizada del cosmos de Aristóteles. Leonard Digges, *A prognostication everlasting of Right Goode*… Rules to judge Weather… (1556). <<

Fig. 4. Una esfera armilar, probablemente del siglo XIV; el soporte de madera es posterior. <<

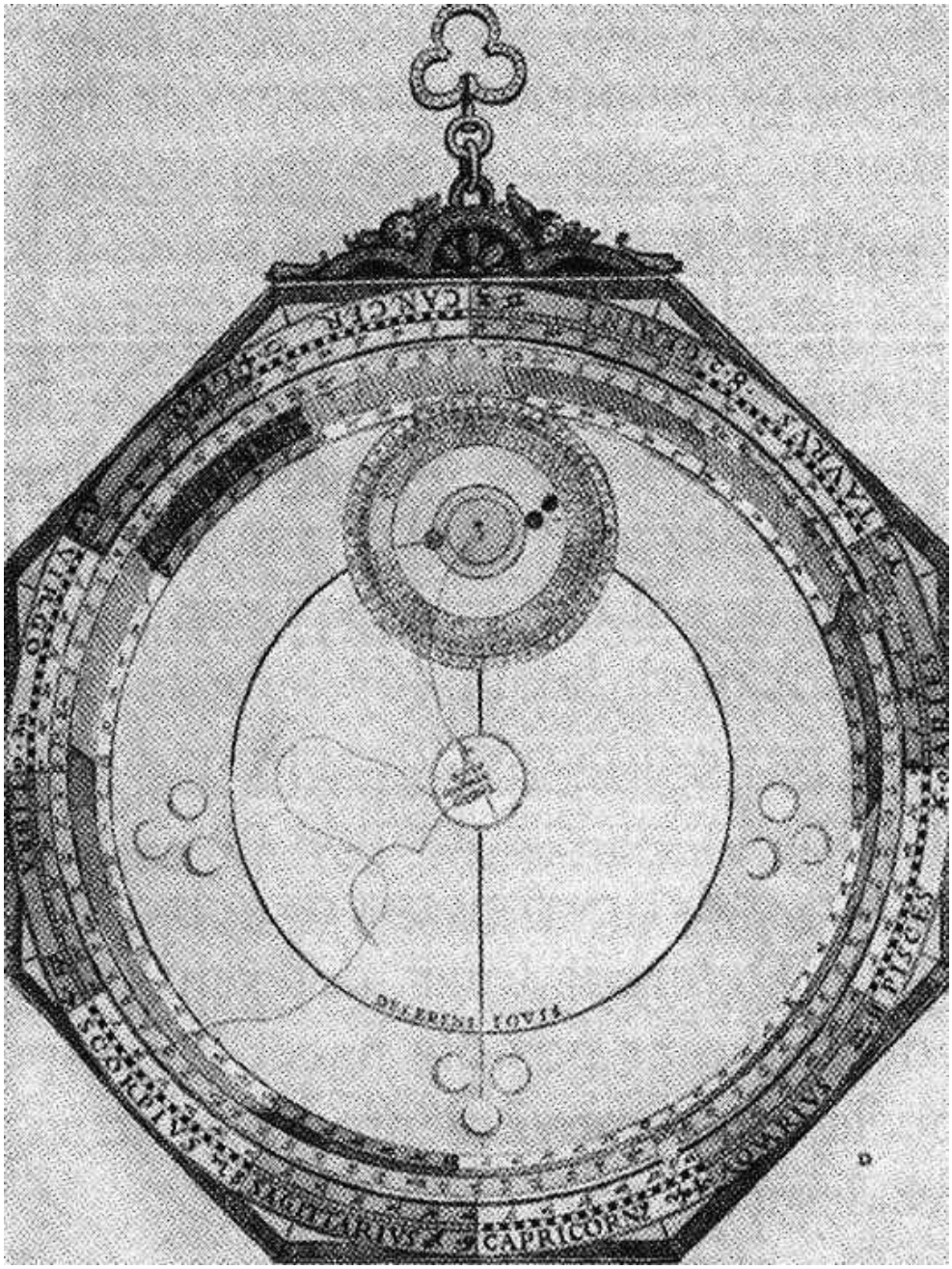


Fig. 5. Disco móvil que ilustra la teoría de los epiciclos de Ptolomeo para el planeta Júpiter. *Petrus Apianus*, Astronomicon Caesareum (1540). <<

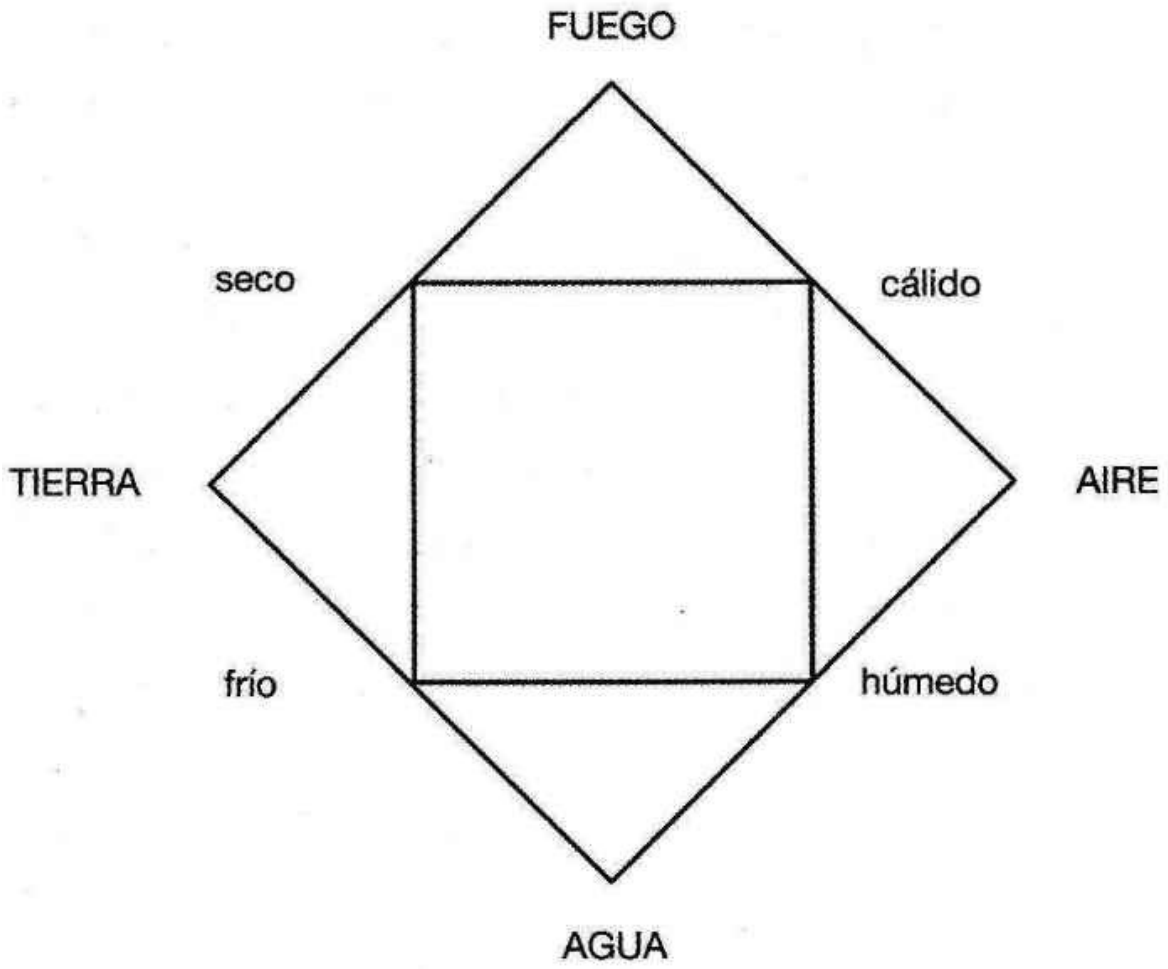


Fig. 6. Versión cristianizada de los elementos y cualidades de Aristóteles. <<

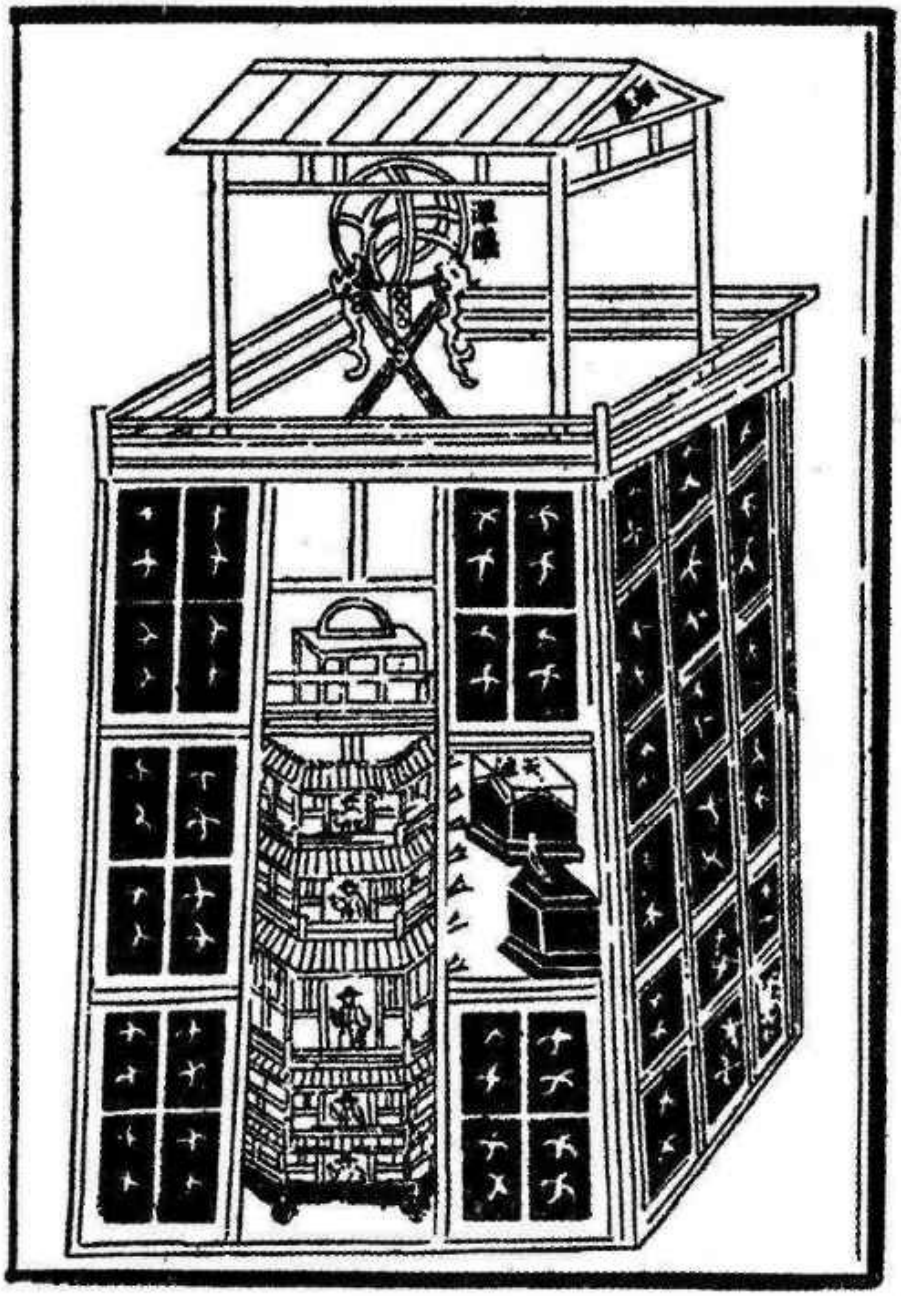


Fig. 7. Reloj astronómico construido por Su Sung y sus colaboradores en el Palacio Imperial de Kaifeng, provincia de Homan, c. 1090. <<

Fig. 8. Taqi al-Din y otros astrónomos trabajando en el observatorio de Muradd III en Estambul en el siglo XVI. <<

MARGARITA PHILOSOPHICA NOVA
PHILTRICEPS · NATVRALIS · RATIONALIS · MORALIS · D HVMANAR RERVM
LOGICA · RHETORICA · GRAMA · ARITMETICA · MVSICA · GEOMETRIA · ASTROLOGIA
PHIS · NATVR · & · PHIS · MORA
Fig. 9. Portada de *Margarita Philosophica Nova* (1503). <<

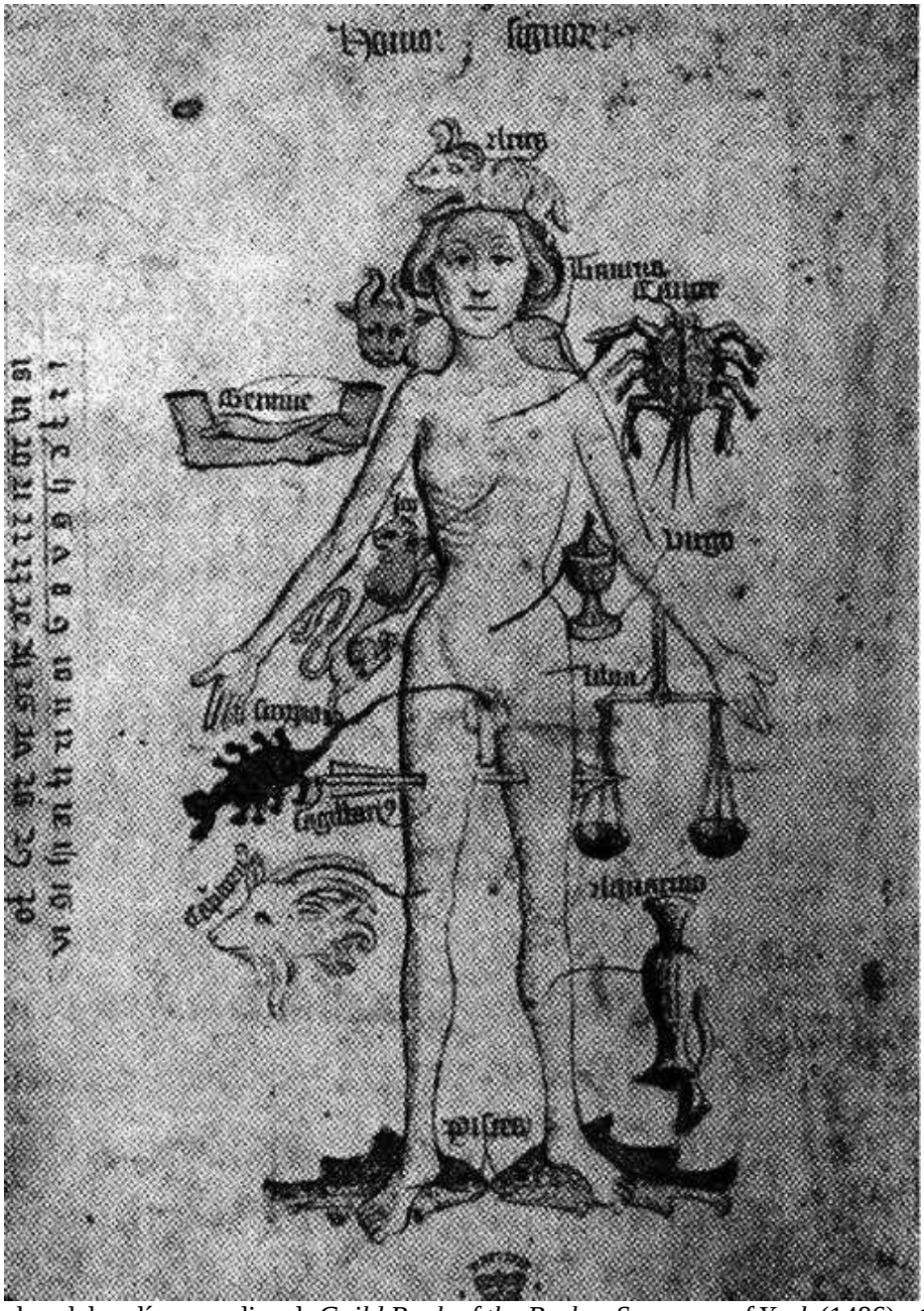


Fig. 10. Hombre del zodíaco medieval. *Guild Book of the Barber Surgeons of York* (1486). <<

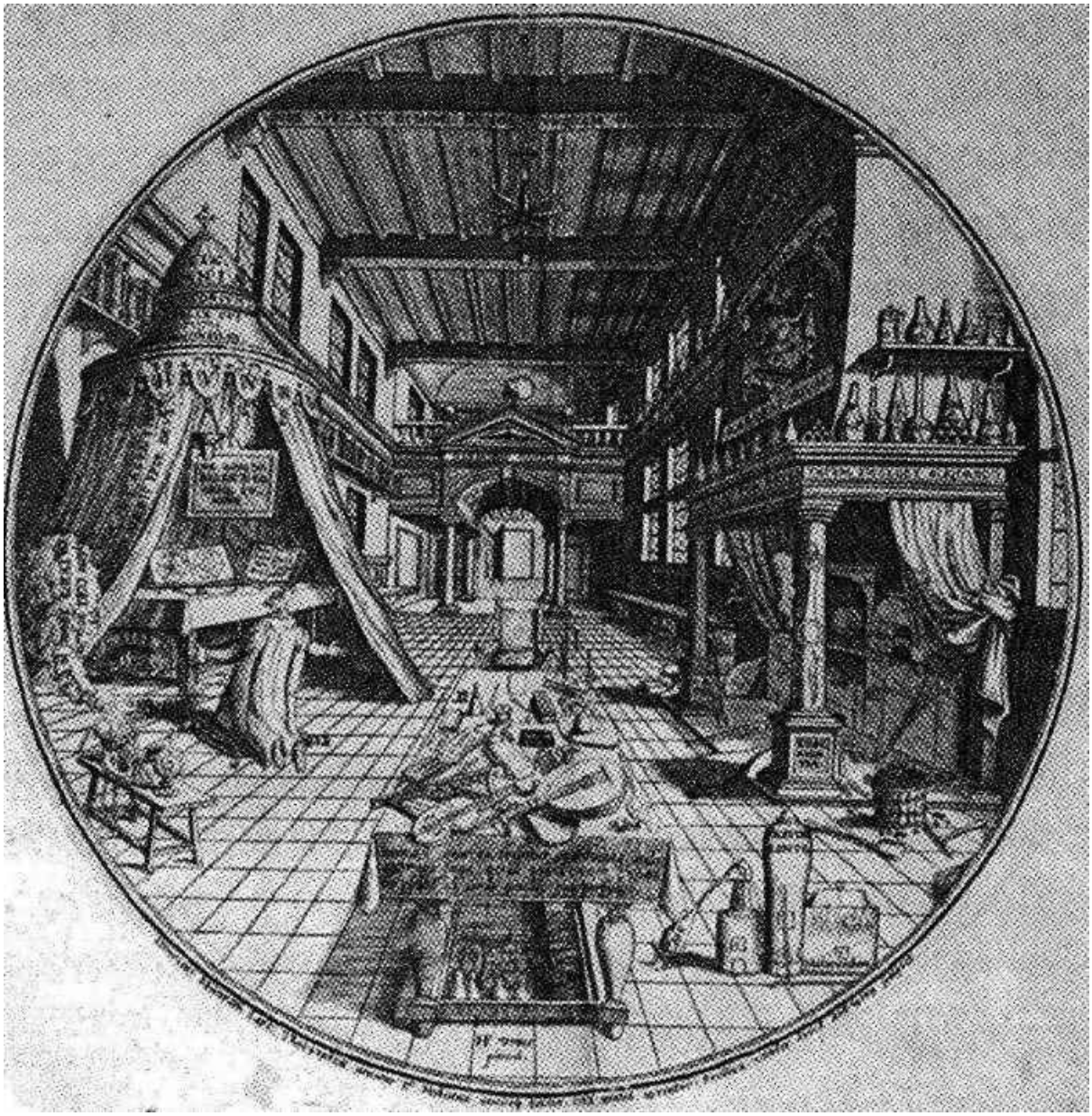


Fig. 11. La habitación de un alquimista. Heinrich Khunrath, *Amphitheatrum Sapientice Aeternce* (1598).
<<

Fig. 12. Hans Holbein, *Los embajadores* (1533). <<

Fig. 13. El museo de Ferrante Imperato en Nápoles, 1599. Ferrante Imperato, *Dell'historia naturale* (ed. de 1672). <<

Fig. 14. Un Copérnico polaco. Miniatura coloreada por Arthur Szyk (1942). <<

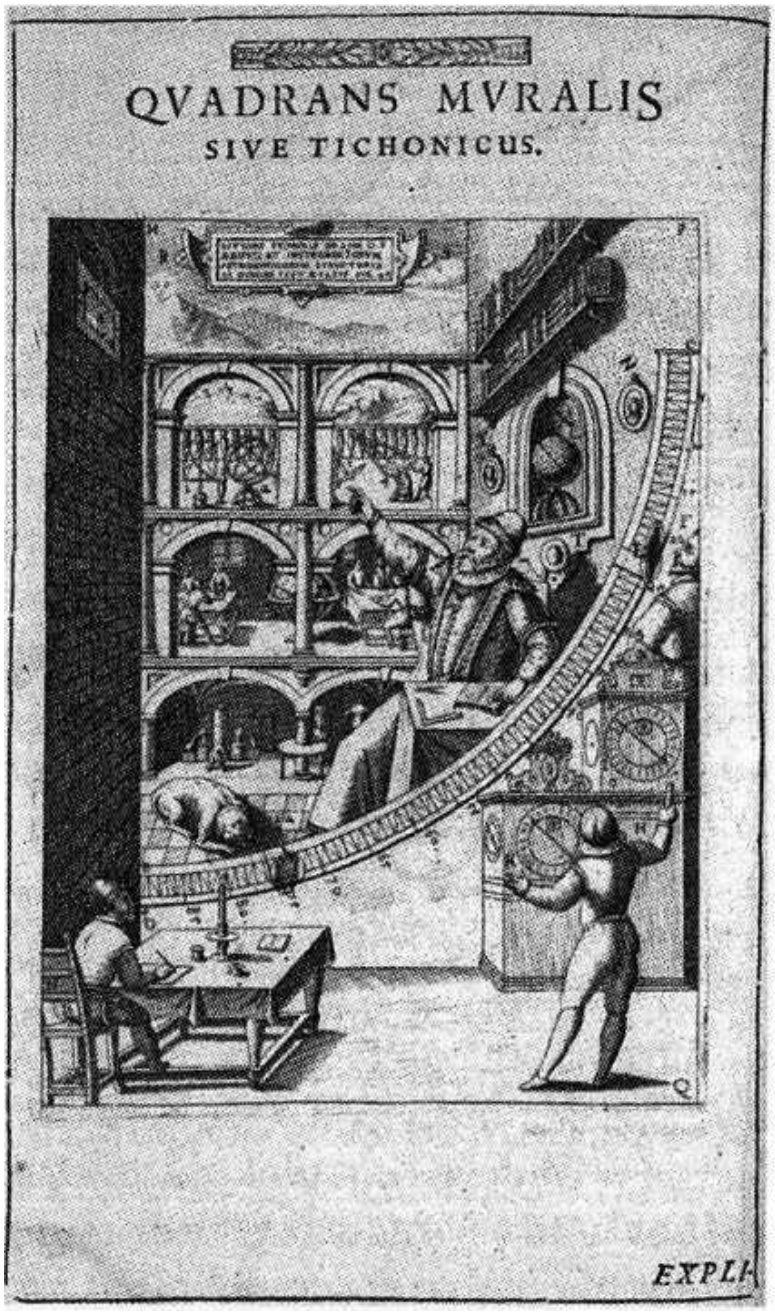


Fig. 15. Cuadrante mural de Tycho Brahe. Tycho Brahe, *Astronomicce instauraticce mechanica* (1587).
<<

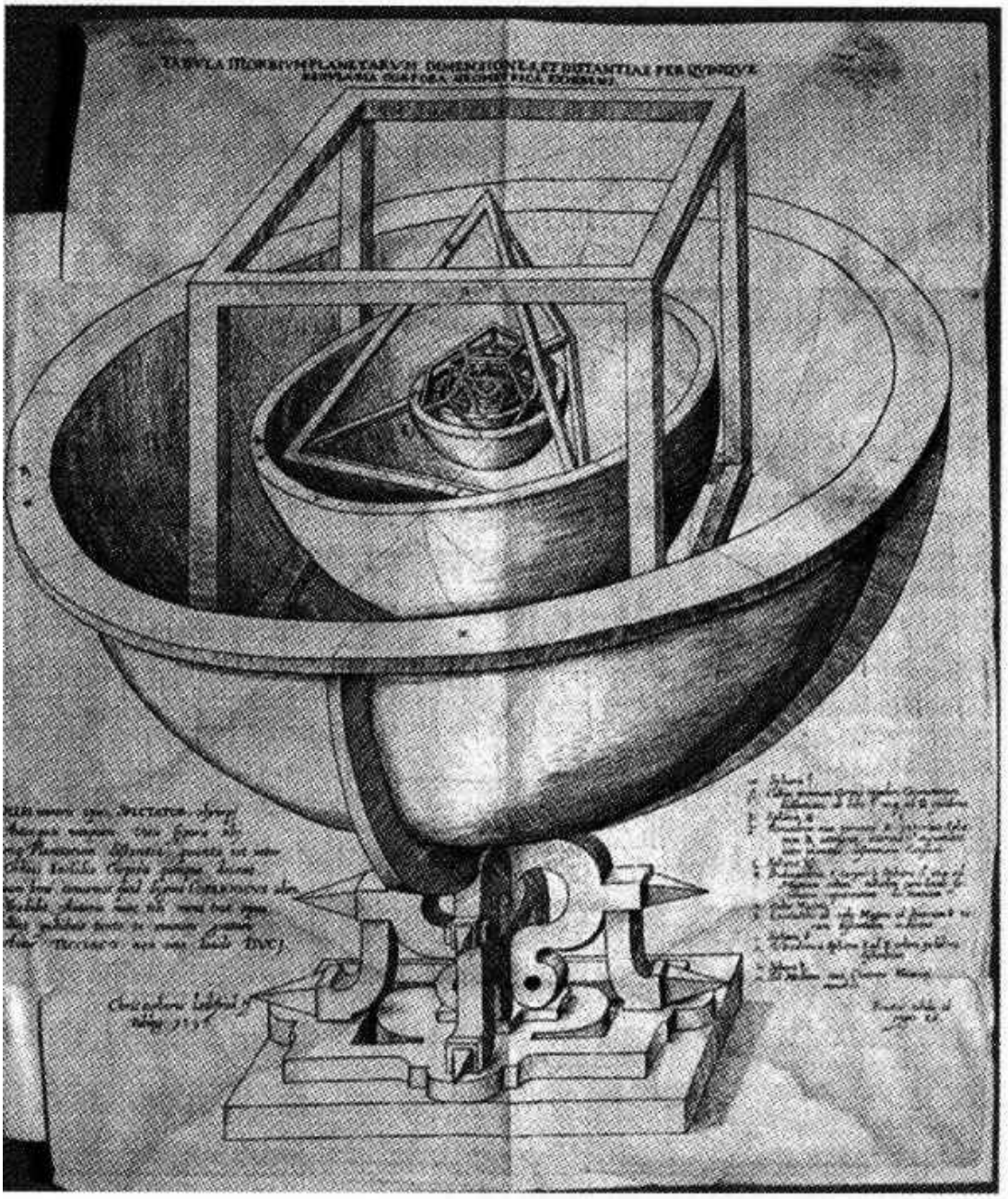


Fig. 16. Esquema de esferas planetarias anidadas y sólidos perfectos de Kepler. Johannes Kepler, *Mysterium cosmographicutn* (1596). <<

Fig. 17. Portada de Andreas Vesalius, *De Humani Corporis Fabrica* (1543). <<

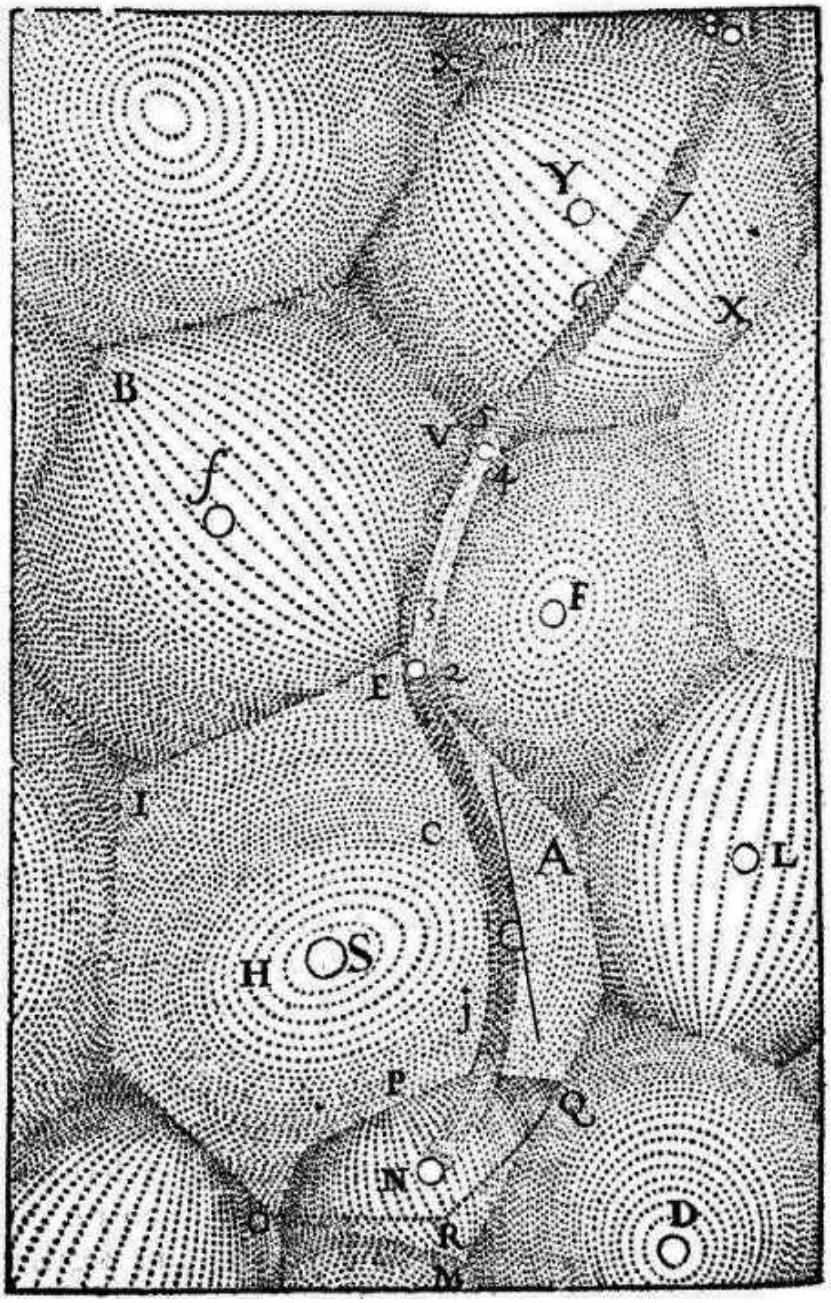


Fig. 18. El recorrido de un cometa por los torbellinos celestiales de Descartes. René Descartes, *Principia Philosophice* (1644). <<

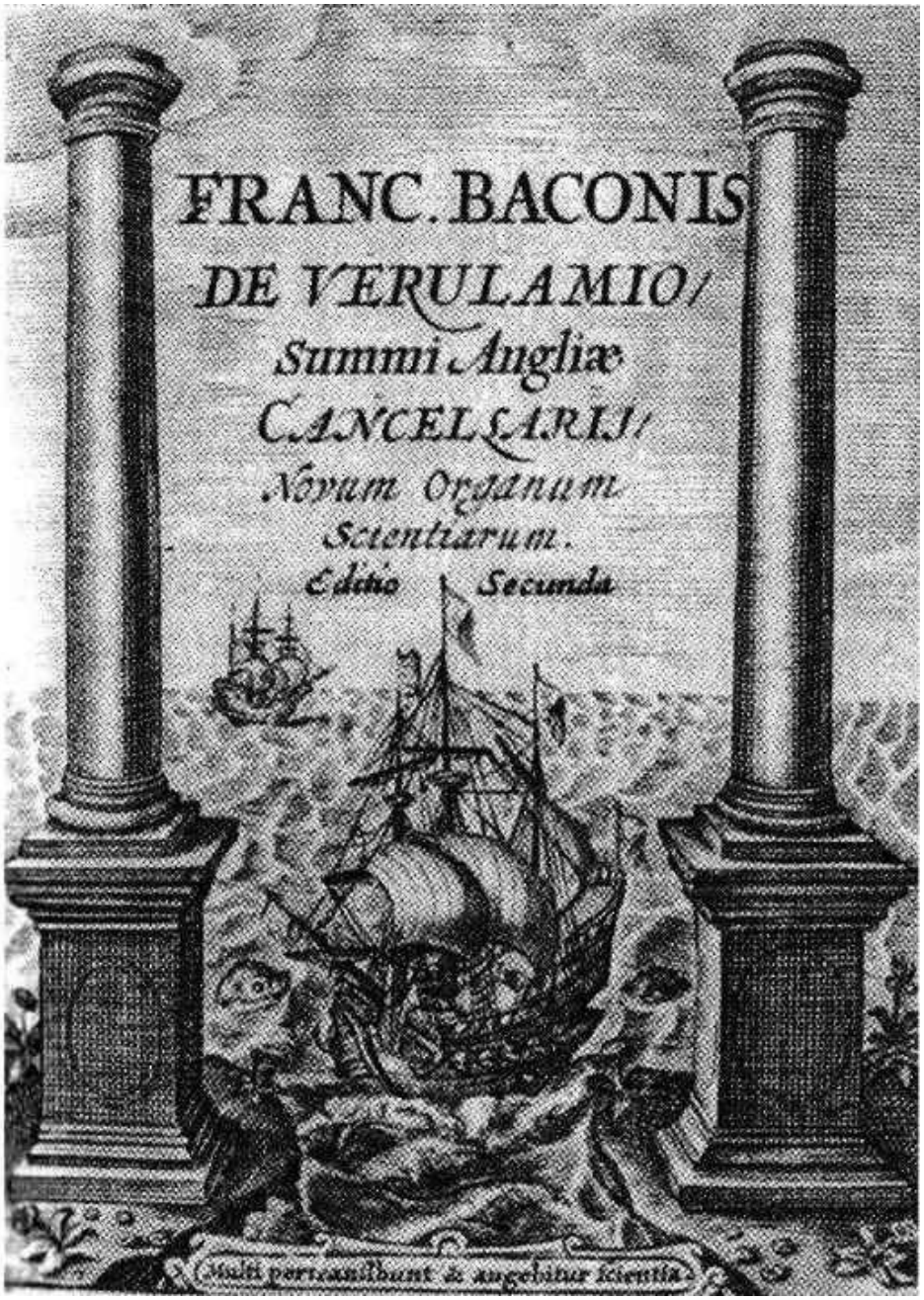


Fig. 19. Portada del libro de Francis Bacon *Novum Organum* (1620). <<

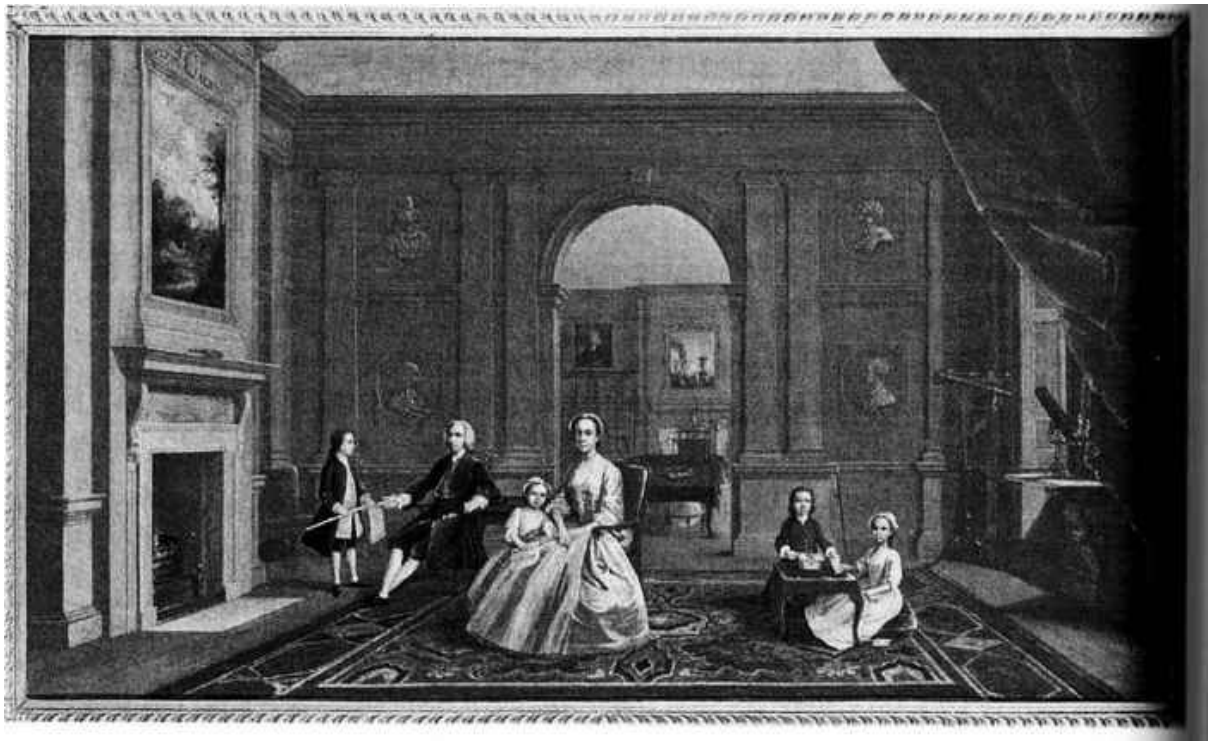


Fig. 20. La familia de John Bacon, de Arthur Devis (c. 1742-1743). <<

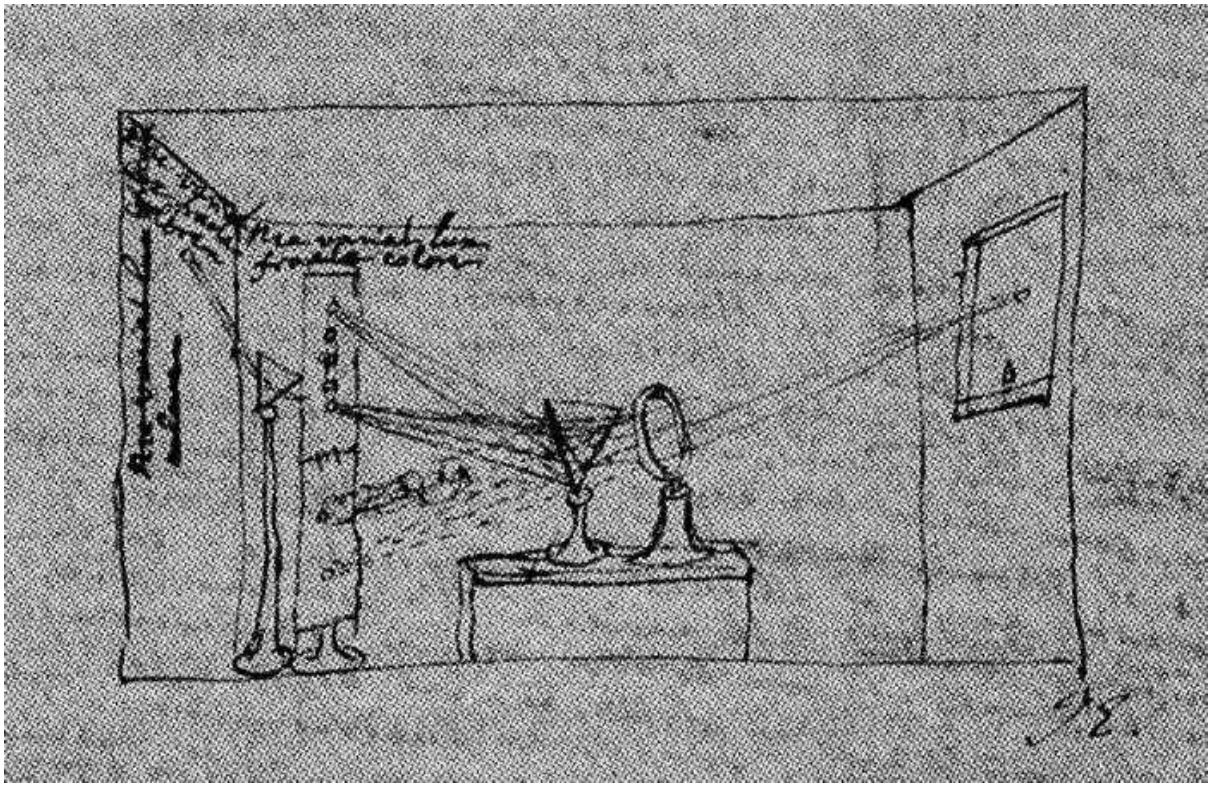


Fig. 21. Boceto del experimento de Isaac Newton con dos prismas. <<

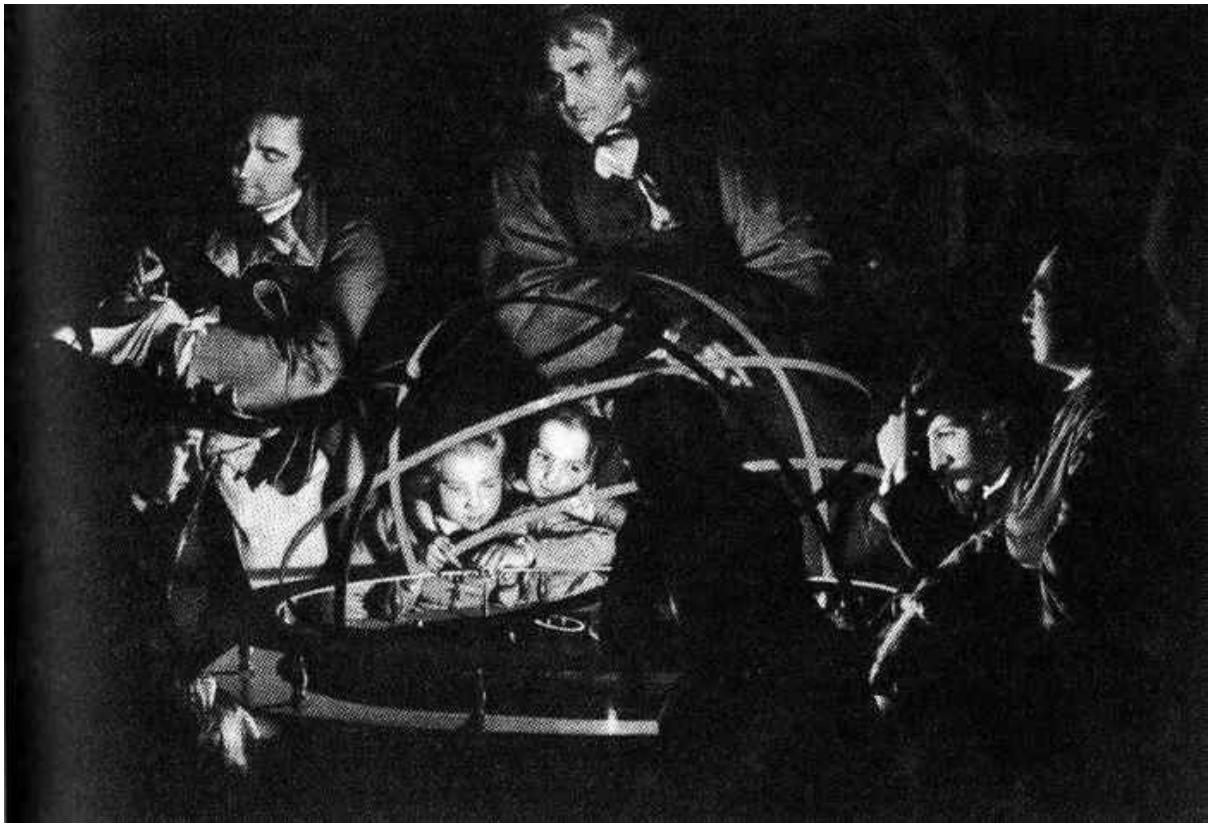


Fig. 22. Joseph Wright, Un filósofo dando una conferencia en el planetario, con una lámpara colocada en lugar del Sol (1766). <<

Fig. 23. Ideología baconiana en los inicios de la Royal Society. Portada de la *History of the Royal Society* de Thomas Sprat (1667). <<

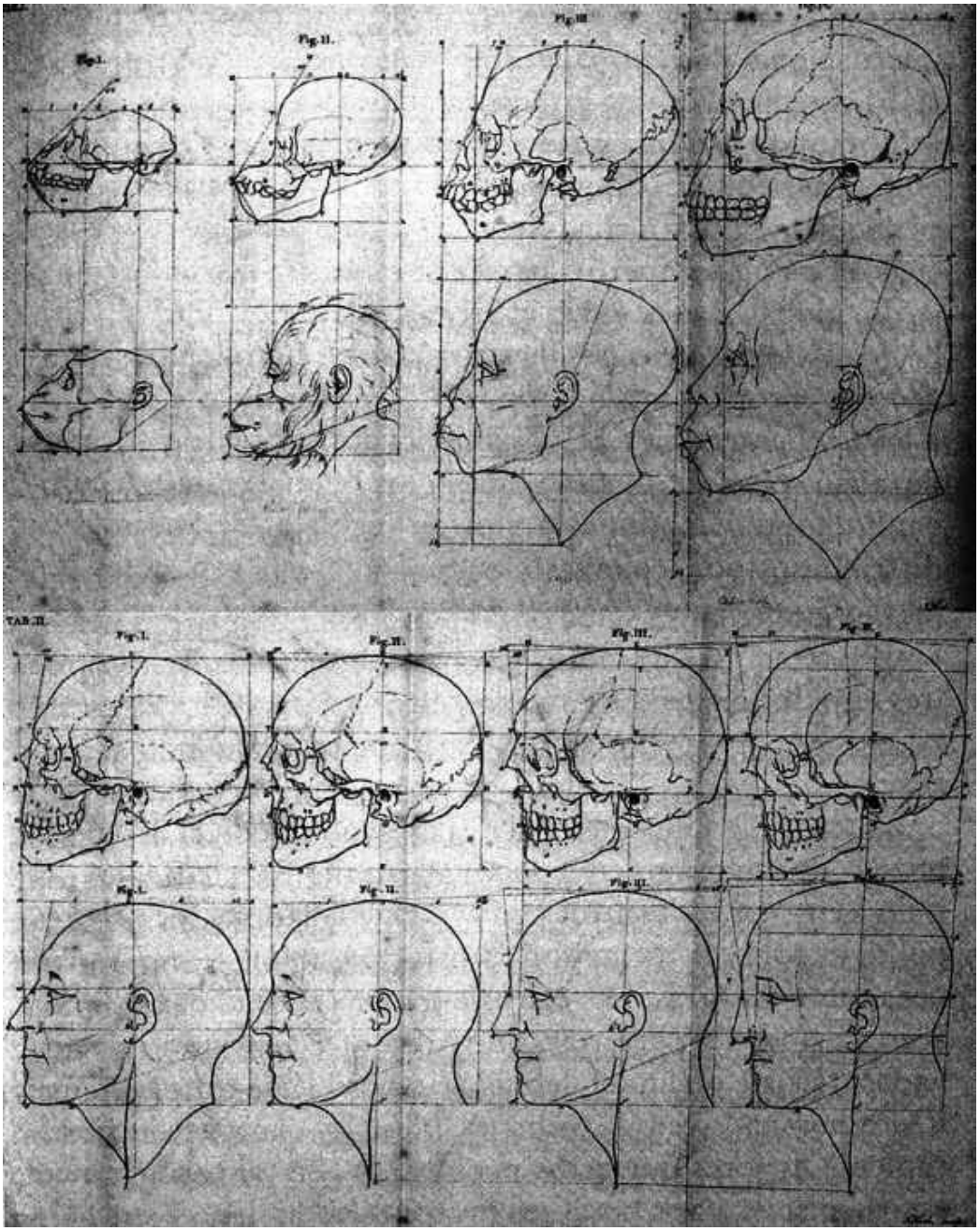


Fig. 24. «Perfiles de rostros de simios, orangutanes negros y otras clases de personas, hasta los antiguos», Pieter Camper, *The Works of the Late Professor Camper, on the Connexion between the Science of Anatomy and the Arts of Drawing, Painting, Statuary…* (1794). <<

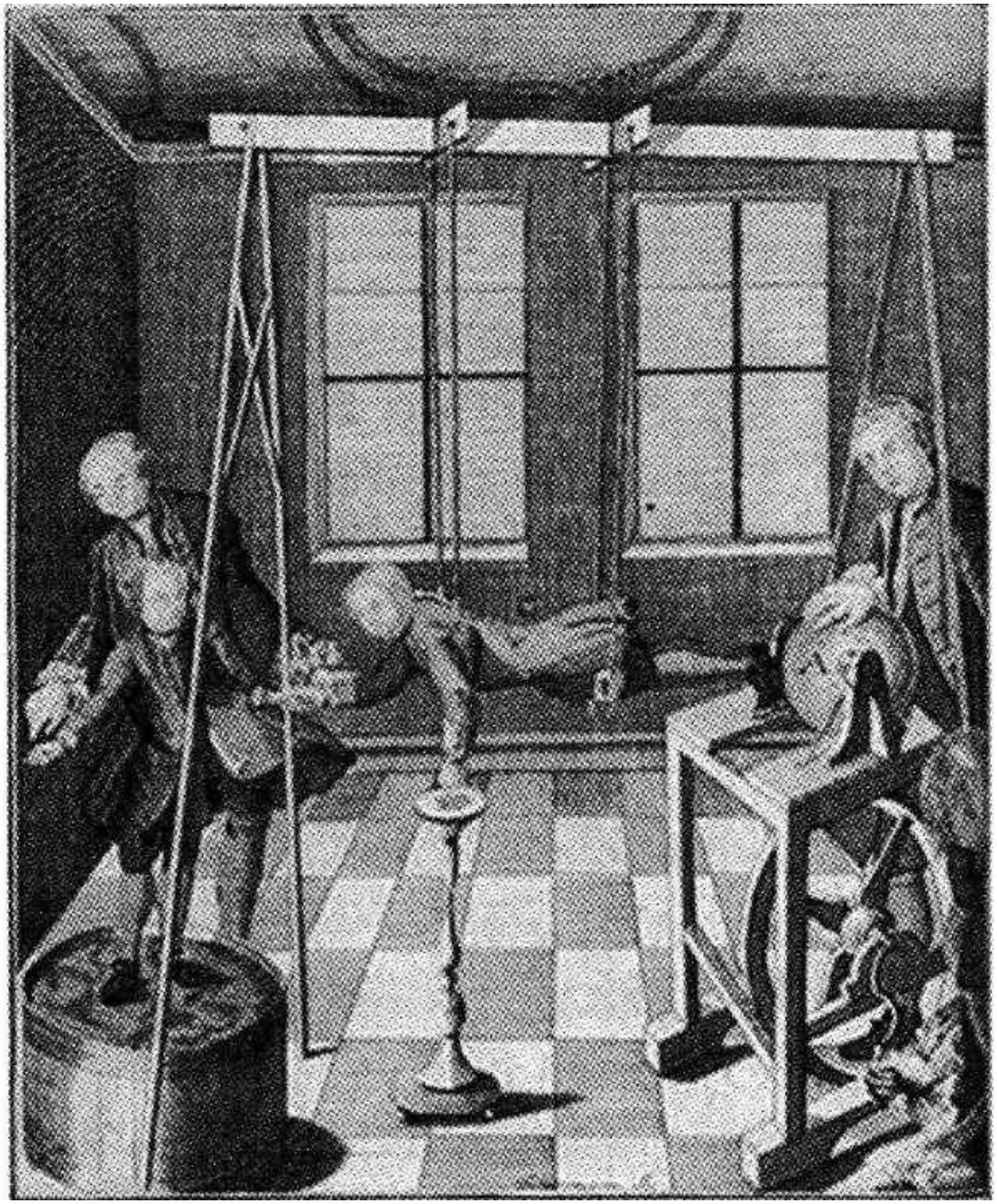


Fig. 25. El chico colgante. William Watson, *Suite des experiences et observations, pour server à l'explication de la nature et des propriétés de l'électricité* (1748). <<

Fig. 26. ¡*Investigaciones científicas! ¡Nuevos descubrimientos en Neumática*! o *Una conferencia experimental sobre el poder del aire*. Grabado coloreado a mano de James Gillray (1802). <<

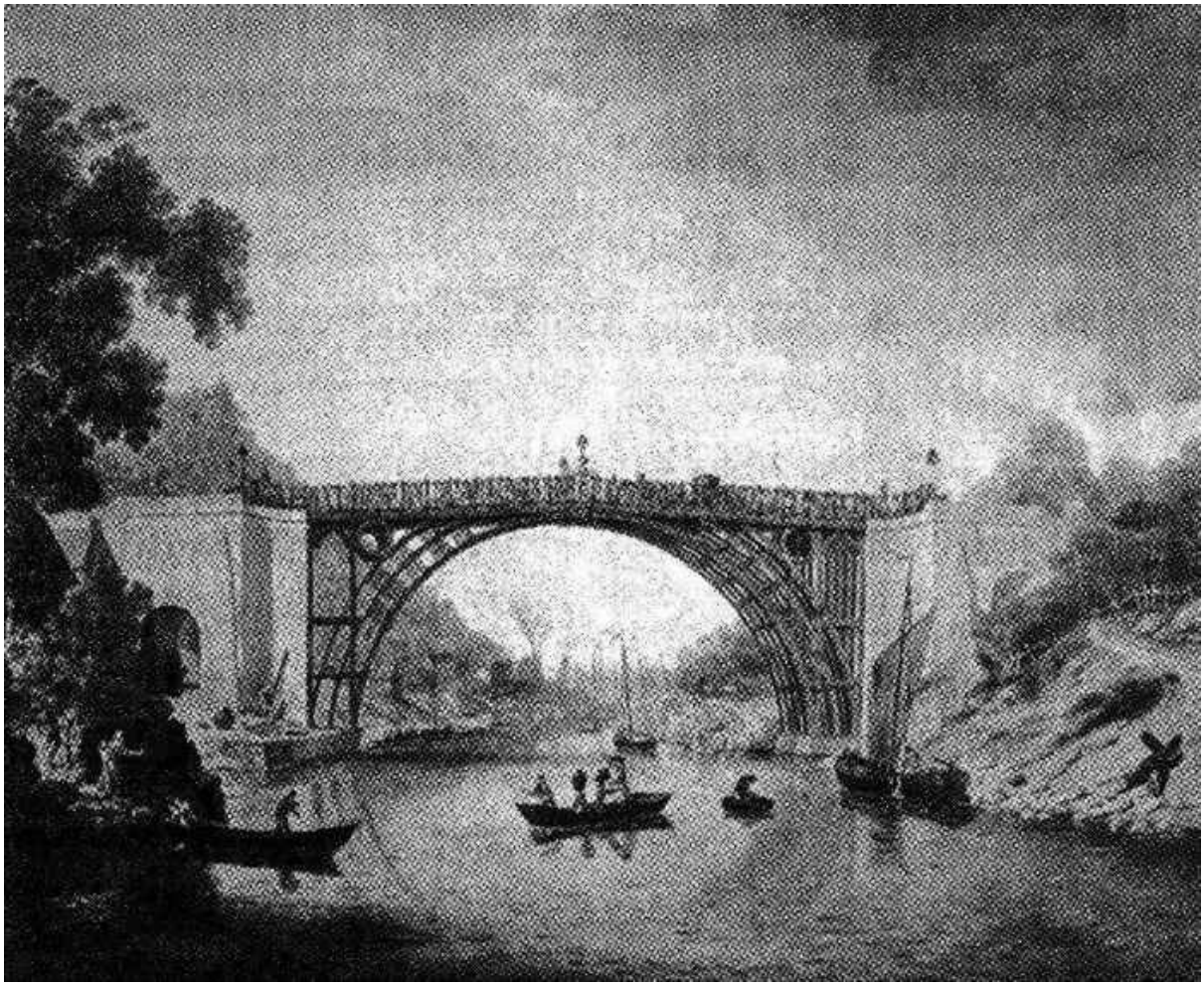


Fig. 27. William Williams, *Vista del puente de hierro* (1780). <<

Fig. 28. *Marie Paulze y su esposo Antoine Lavoisier*, por Jacques-Louis David (1788). <<

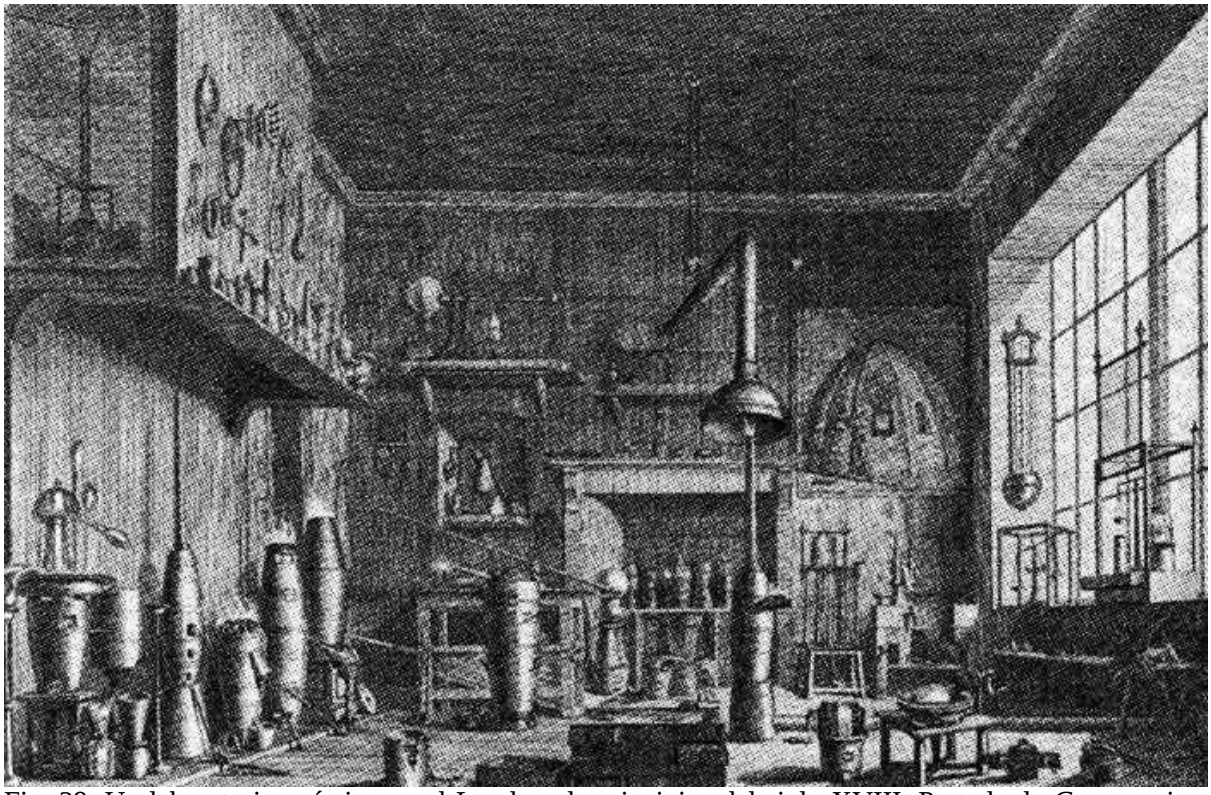


Fig. 29. Un laboratorio químico en el Londres de principios del siglo XVIII. Portada de *Commercium philosophico-technicum or the philosophical commerce of the arts*, de William Lewis (1765). <<

Fig. 30. Un salón en la clínica magnética de Franz Mesmer. Grabado sin fecha de H. Thiriat. <<

Fig. 31. Estatua de Isaac Newton en Grantham, esculpida por William Theed (1858). *Illustrated London News*, 2 de octubre de 1858. <<

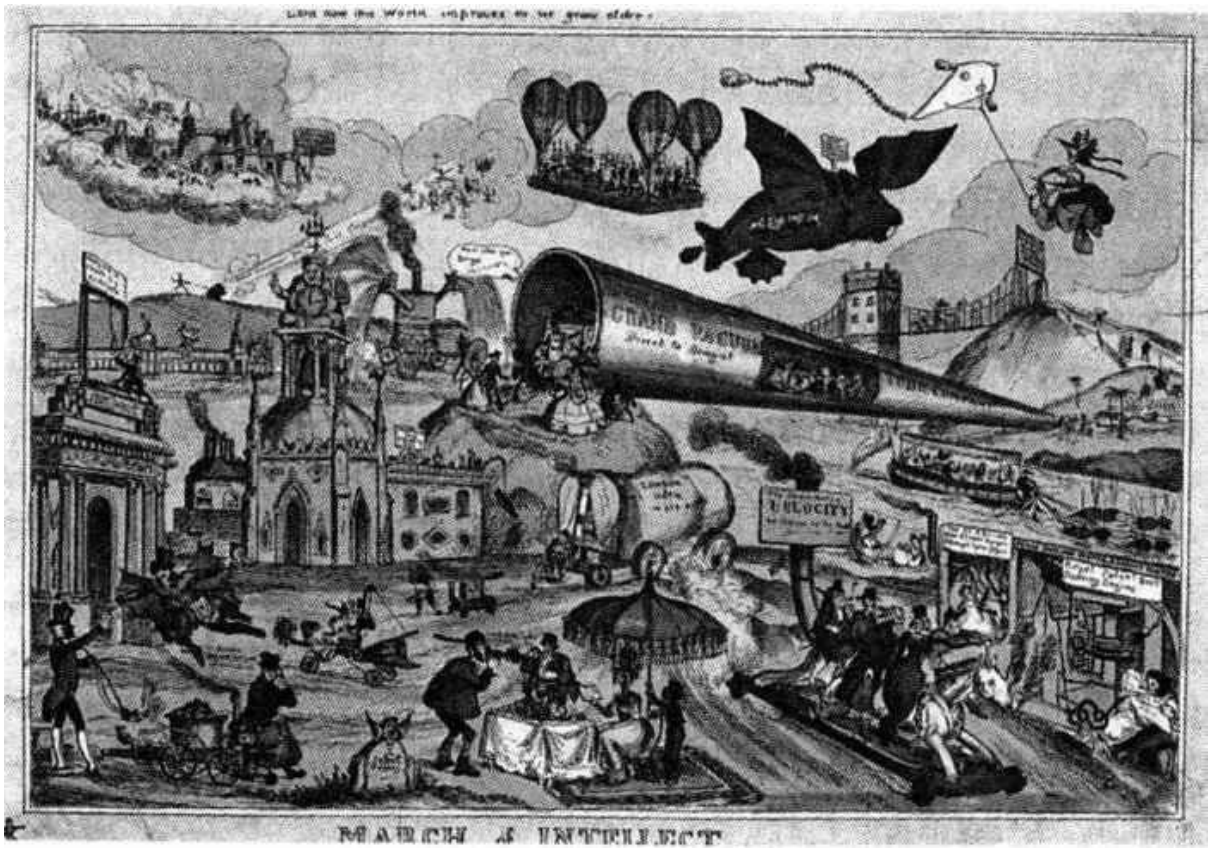


Fig. 32. William Heath [Paul Pry], *El desfile del intelecto* (1829). <<

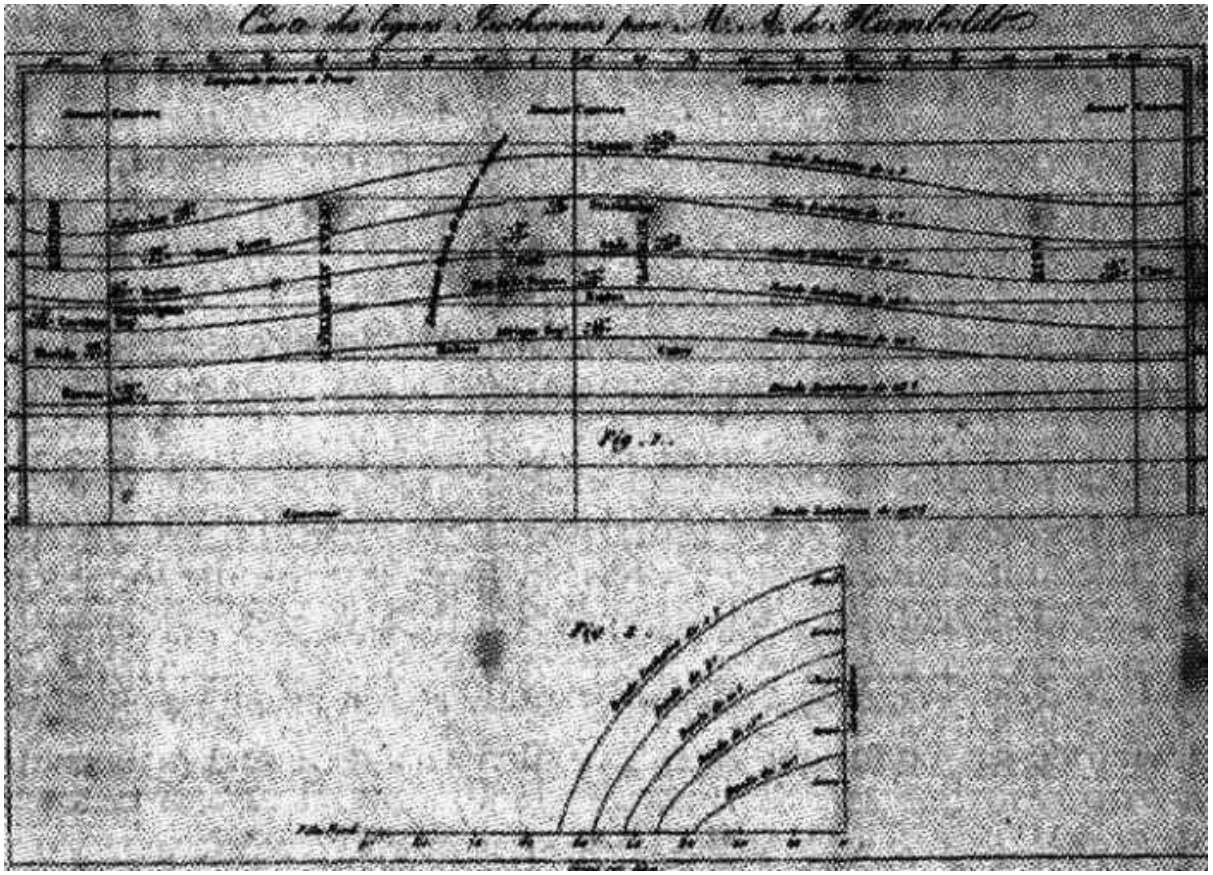


Fig. 33. Diagrama de líneas isotermas de Alexander von Humboldt, *Annales de chimie et de physique, 5* (1817). <<

Fig. 34. Portada del *Atlas géographique et physique du Nouveau Continent* (1814) de Alexander von Humboldt; grabado de Barthélemy Roger a partir de un dibujo de Frangois Gérard. <<

Fig. 35. Grabado de Johann Wolfgang von Goethe para acompañar sus *Optical Lectures* (1792). <<

Fig. 36. Fotografías compuestas de criminales, de Francis Galton (década de 1880). <<

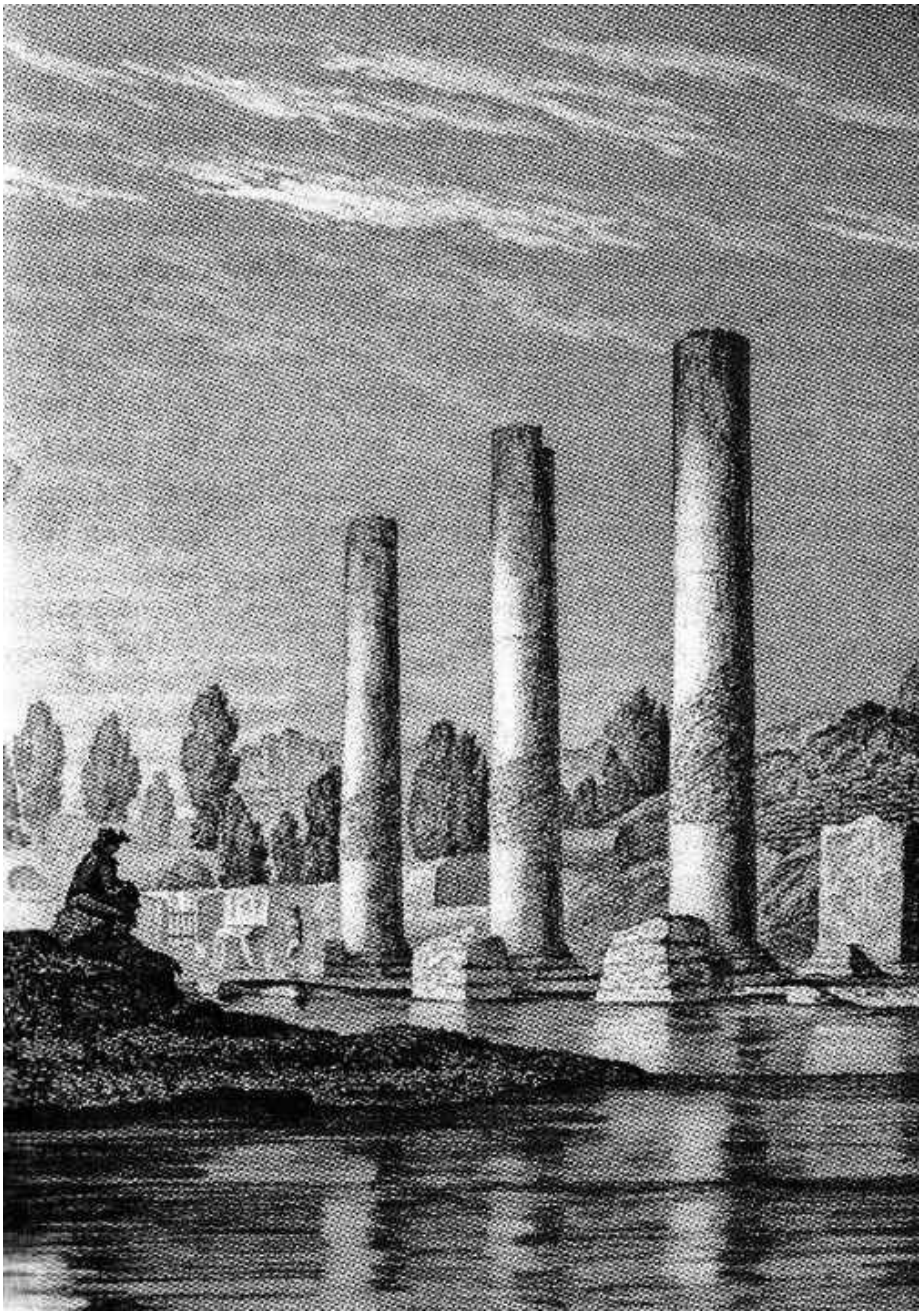


Fig. 37. *El templo de Serapis*. Portada de *Principies of Geology* de Charles Lyell (1830). <<

FUN.—November 16, 1872.
THAT TROUBLES OUR MONKEY AGAIN.
Female descendant of Novice Anglicus:—"REALLY, MR. DARWIN, SAY WHAT YOU LIKE ABOUT MAN; BUT I WISH YOU WOULD LEAVE MY EMOTIONS ALONE!"

Fig. 38. Caricatura de Charles Darwin. Revista *Fun*, 16 de noviembre de 1872. <<

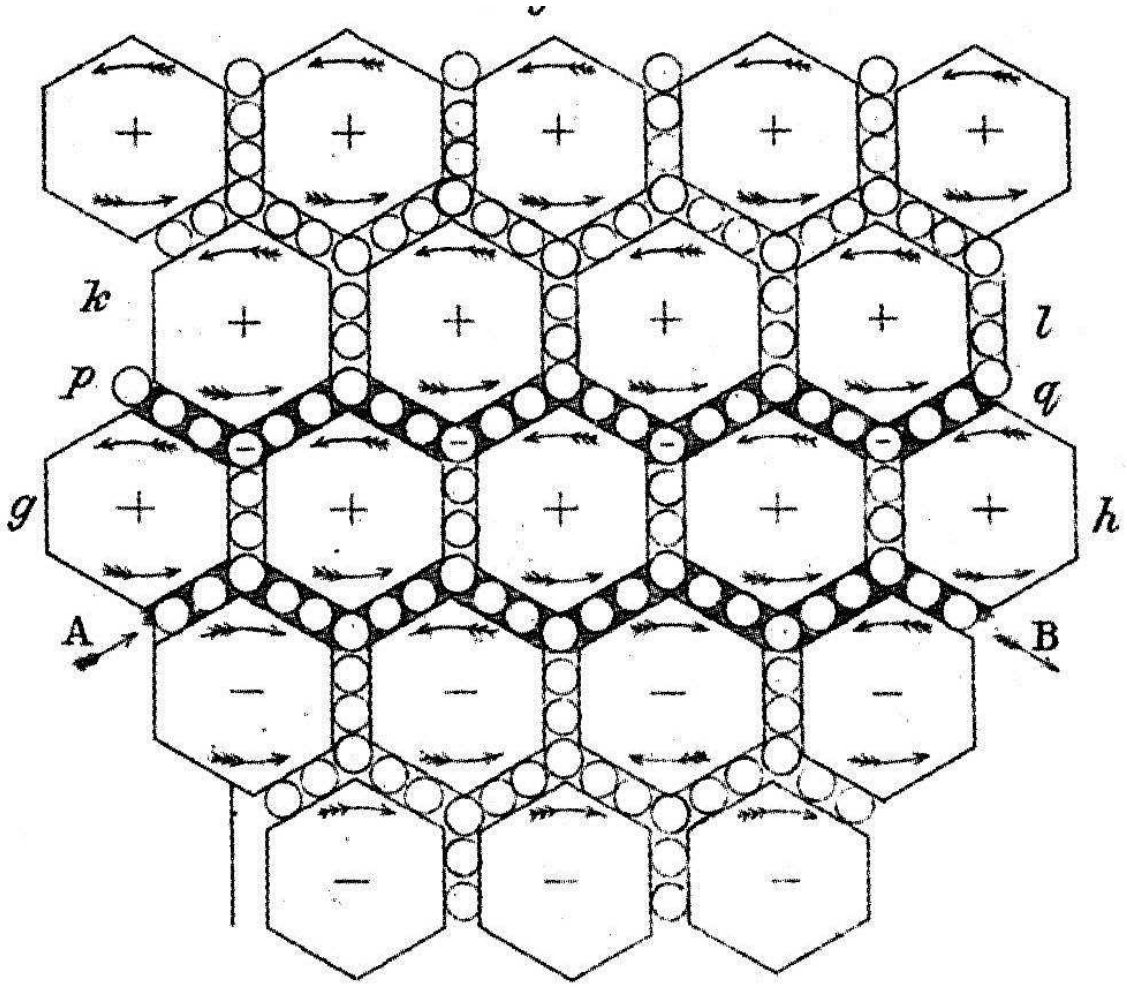
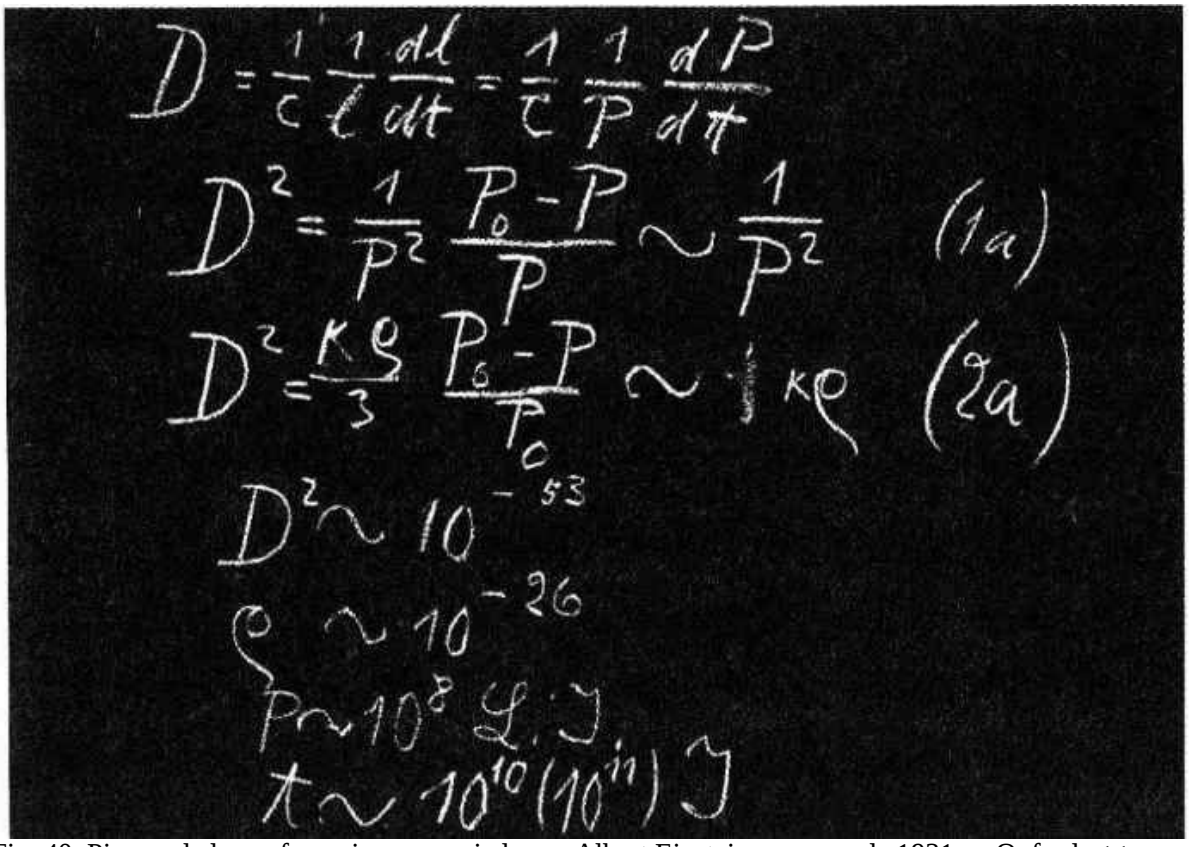


Fig. 39. Modelo físico del éter de James Clerk Maxwell, *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell* (1890). <<


$D = \frac{1}{c}\frac{1}{l}\frac{dl}{dt} = \frac{1}{c}\frac{1}{P}\frac{dP}{dt}$
$D^2 = \frac{1}{P^2}\frac{P_0 - P}{P} \sim \frac{1}{P^2}$ (1a)
$D^2 = \frac{K\varrho}{3}\frac{P_0 - P}{P_0} \sim 1 K\varrho$ (2a)
$D^2 \sim 10^{-53}$
$\varrho \sim 10^{-26}$
$P \sim 10^8$ Lj
$t \sim 10^{10}$ (10^{in}) J
Fig. 40. Pizarra de la conferencia pronunciada por Albert Einstein en mayo de 1931 en Oxford. <<

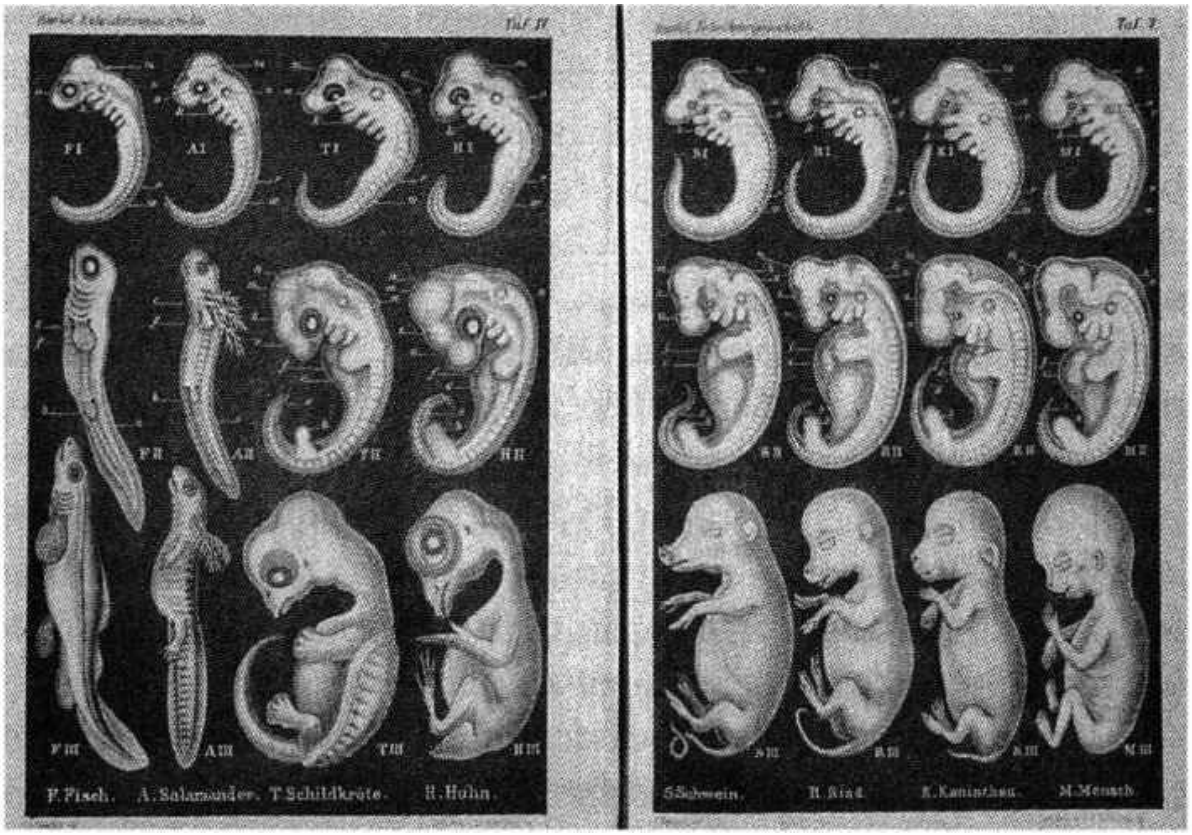
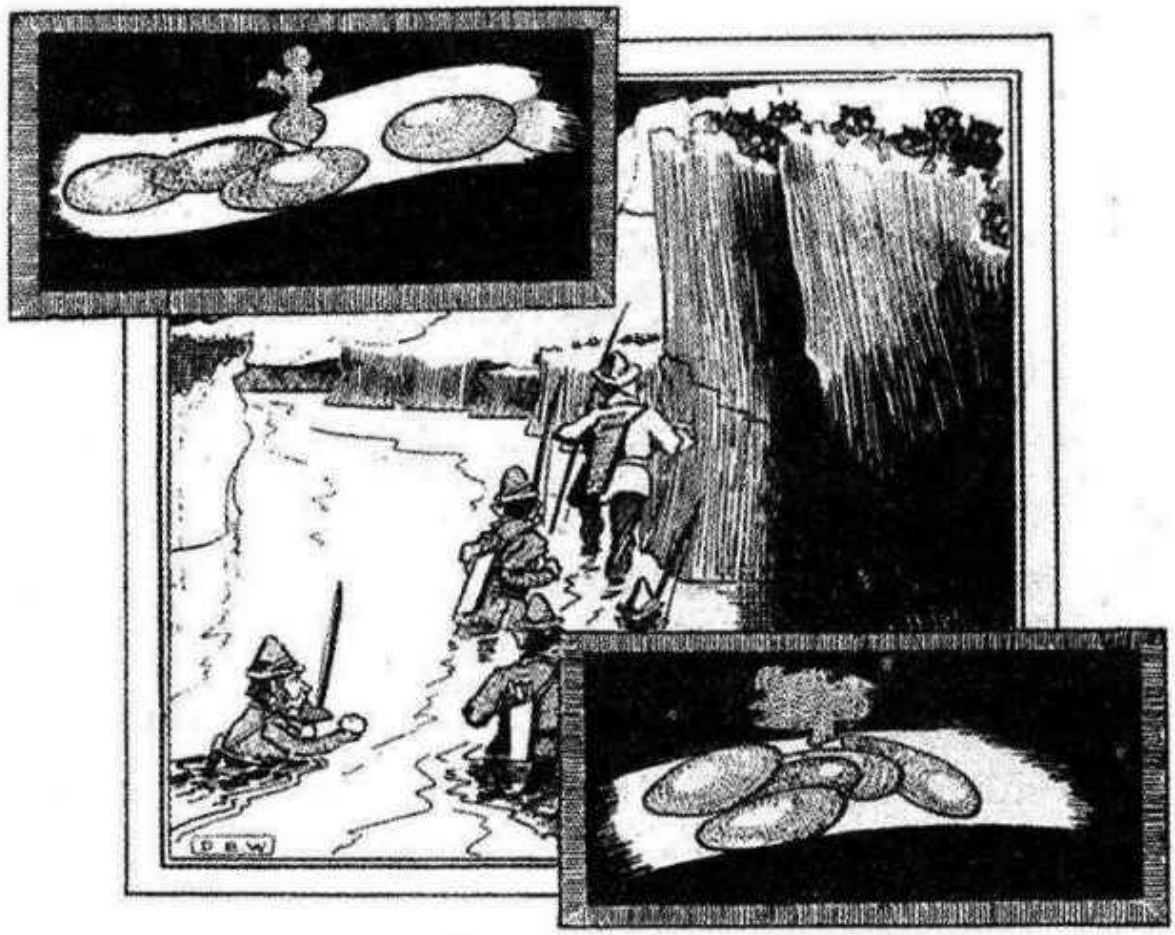


Fig. 41. Comparación de embriones en tres etapas de desarrollo distintas. Ernst Haeckel, *The Evolution of Man: A Popular Exposition of the Principal Points of Human Ontogeny and Phylogeny* (1883). <<

Fig. 42. James Gillray, *La viruela vacuna* o *Los maravillosos efectos de la nueva inyección* (1802). <<



A.—Going to the attack.

Fig. 43. David Wilson, *Going to the attack* (1899). Boceto a tinta, basado en fotografía de bacterias de Elie Metchnikoff. <<

Fig. 44. Caricatura de Marie y Pierre Curie, por Julius Mendes Price («Imp»), *Vanity Fair* (1904). <<

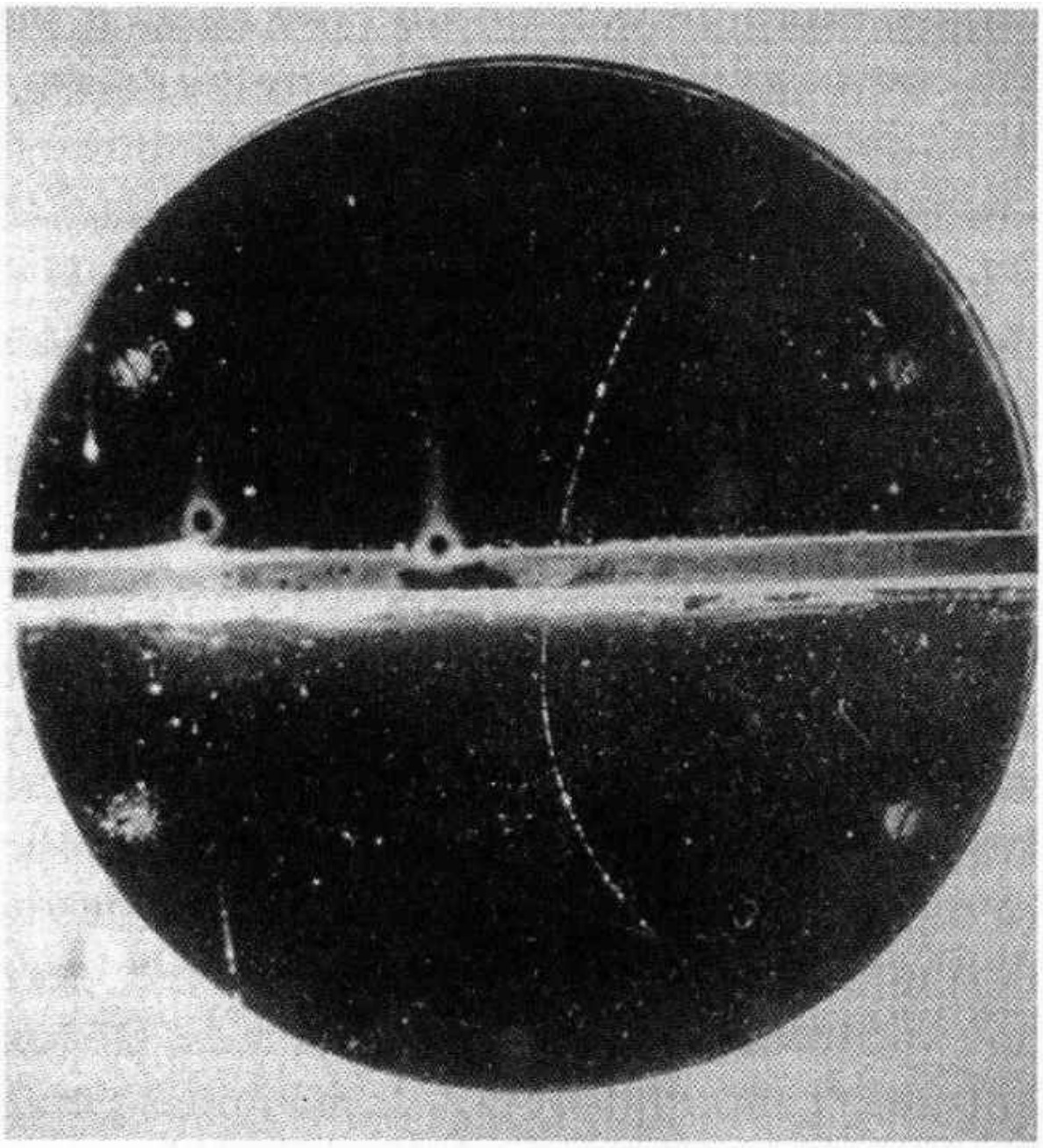


Fig. 45. Primera fotografía de un positrón de Cari Anderson (1932). <<

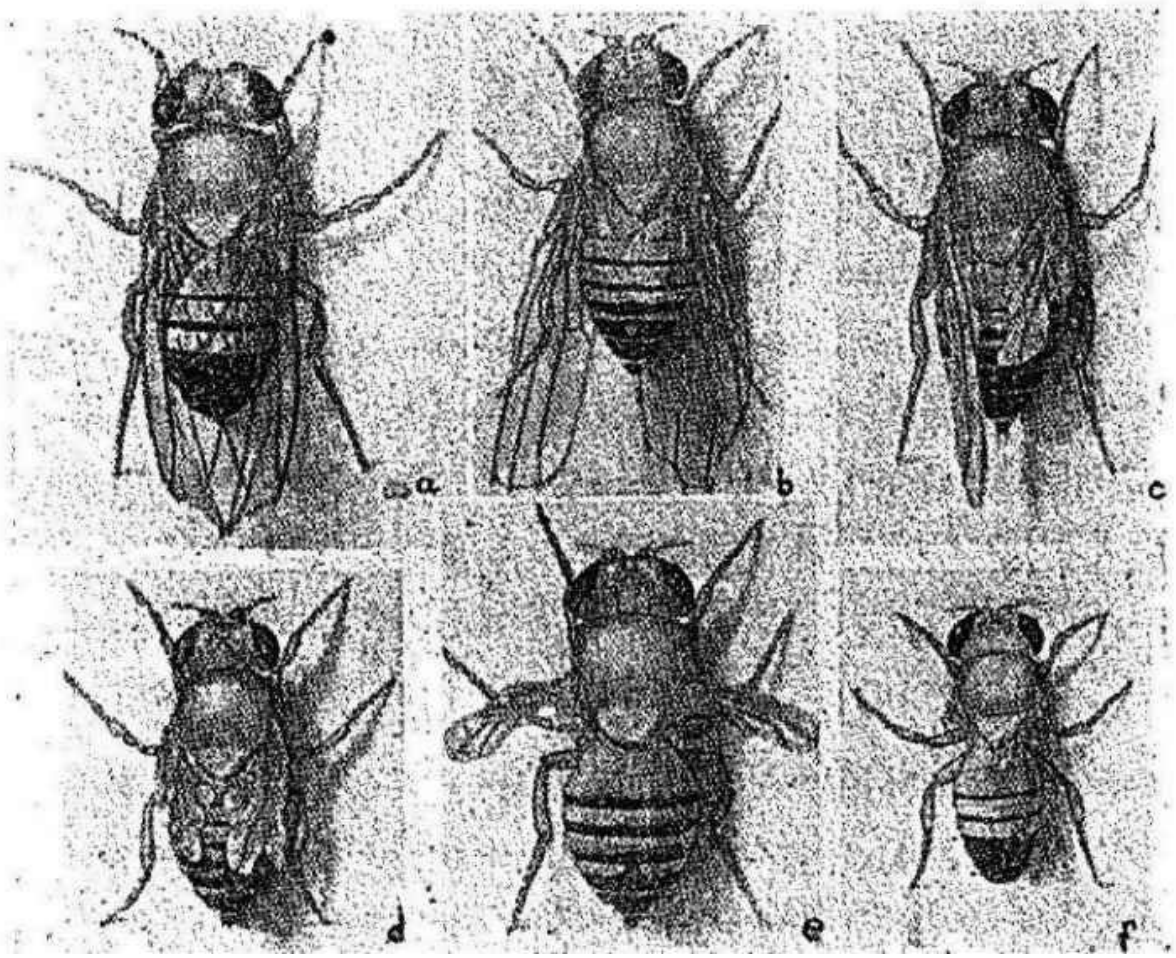


Fig. 46. Diversas mutaciones alares en moscas de la fruta, *Drosophila*. Thomas Hunt Morgan, *Evolution and Genetics* (1925). <<

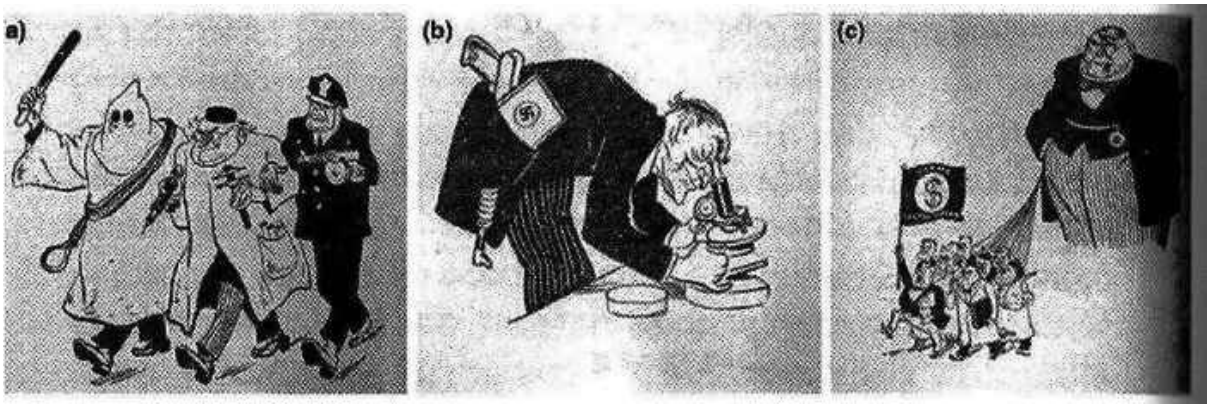


Fig. 47. Caricaturas de Boris Efimov en *Ogonek* (*Pequeña llama*, 1949). <<

Fig. 48. Maggi Hambling, *Dorothy Hodgkin* (1985). <<

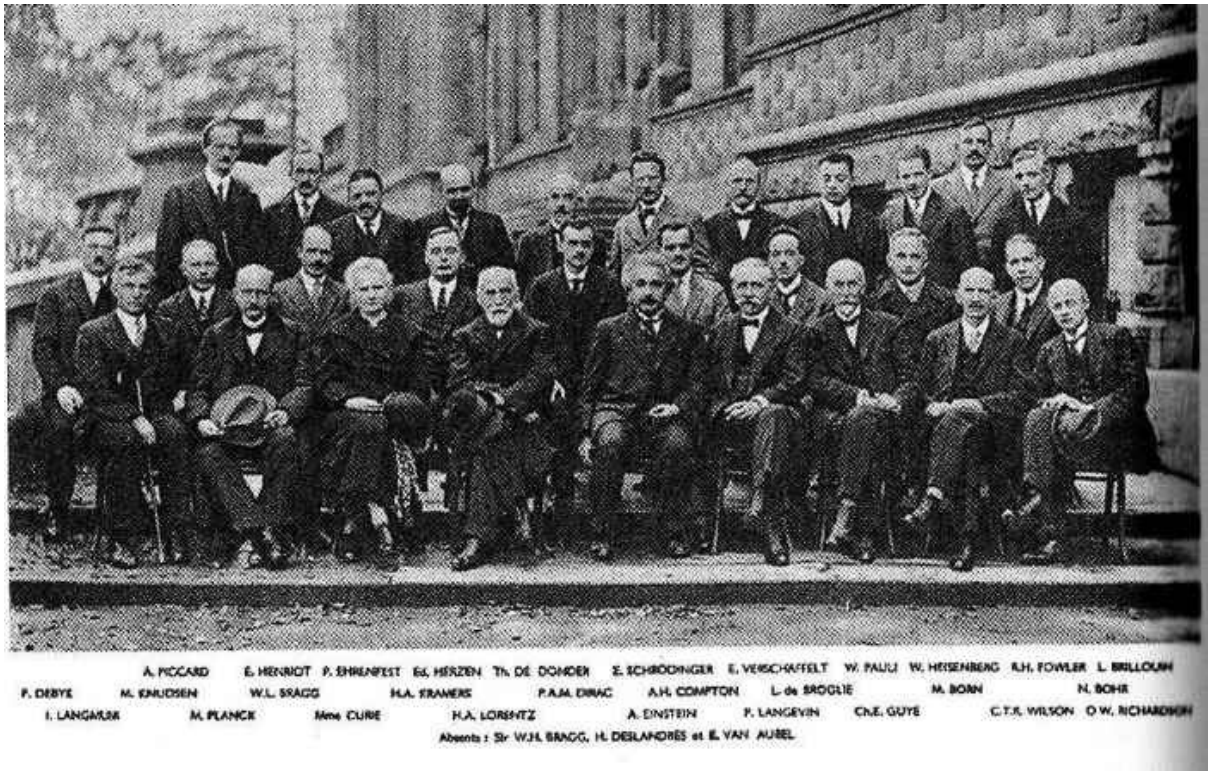

A. PICCARD E. HENRIOT P. EHRENFEST Ed. HERZEN Th. DE DONDER E. SCHRODINGER E. VERSCHAFFELT W. PAULI W. HEISENBERG R.H. FOWLER L. BRILLOUIN
P. DEBYE M. KNUDSEN W.L. BRAGG H.A. KRAMERS P.A.M. DIRAC A.H. COMPTON L. de BROGLIE M. BORN N. BOHR
I. LANGMUIR M. PLANCK Mme CURIE H.A. LORENTZ A. EINSTEIN P. LANGEVIN Ch.E. GUYE C.T.R. WILSON O.W. RICHARDSON
Absents : Sir W.H. BRAGG, H. DESLANDRES et E. VAN AUBEL

Fig. 49. Científicos en la quinta Conferencia Solvay, Bruselas, 23-29 de octubre de 1927. <<

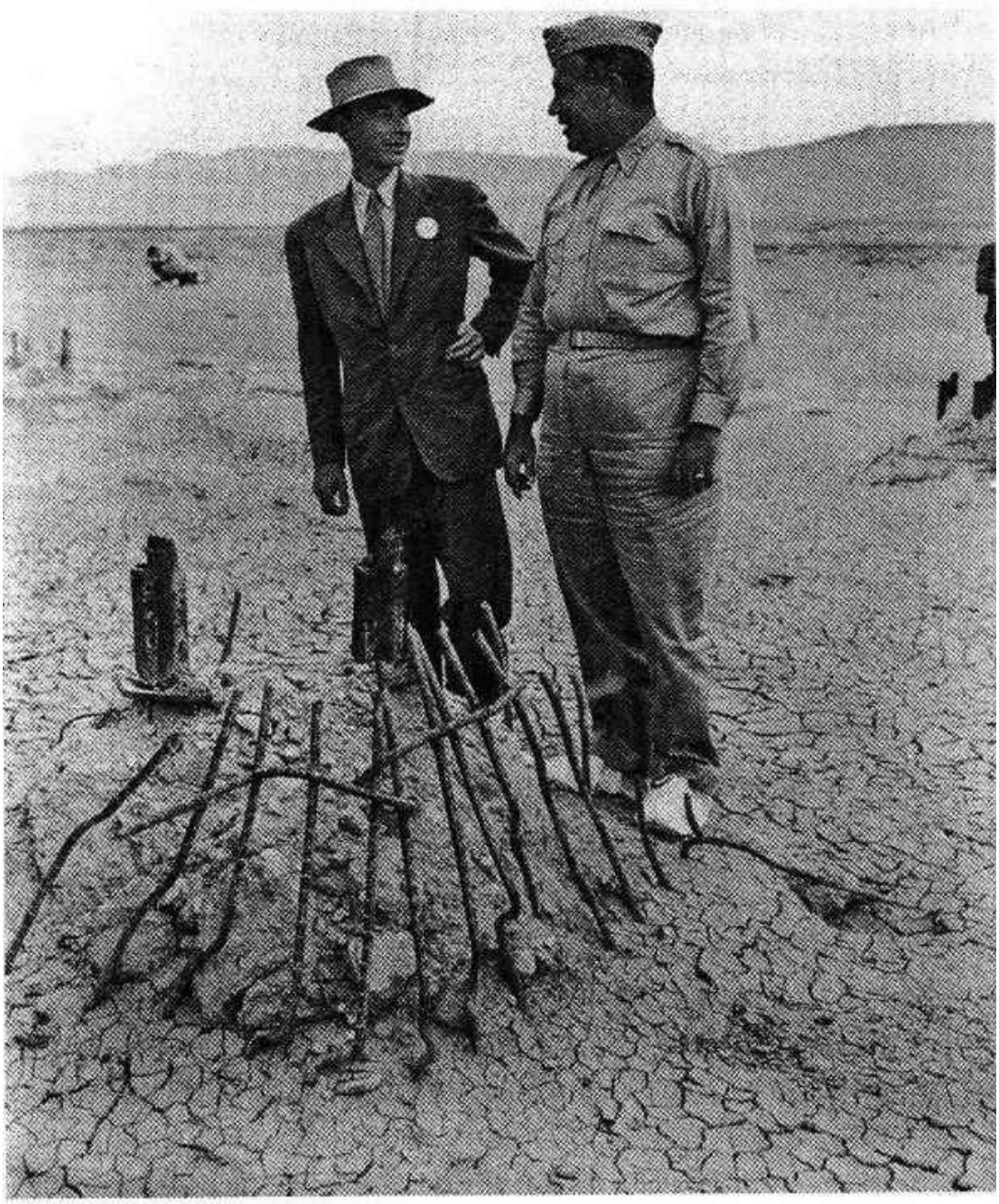


Fig. 50. Robert Oppenheimer y el general Leslie Groves en la Zona Cero (1945). <<

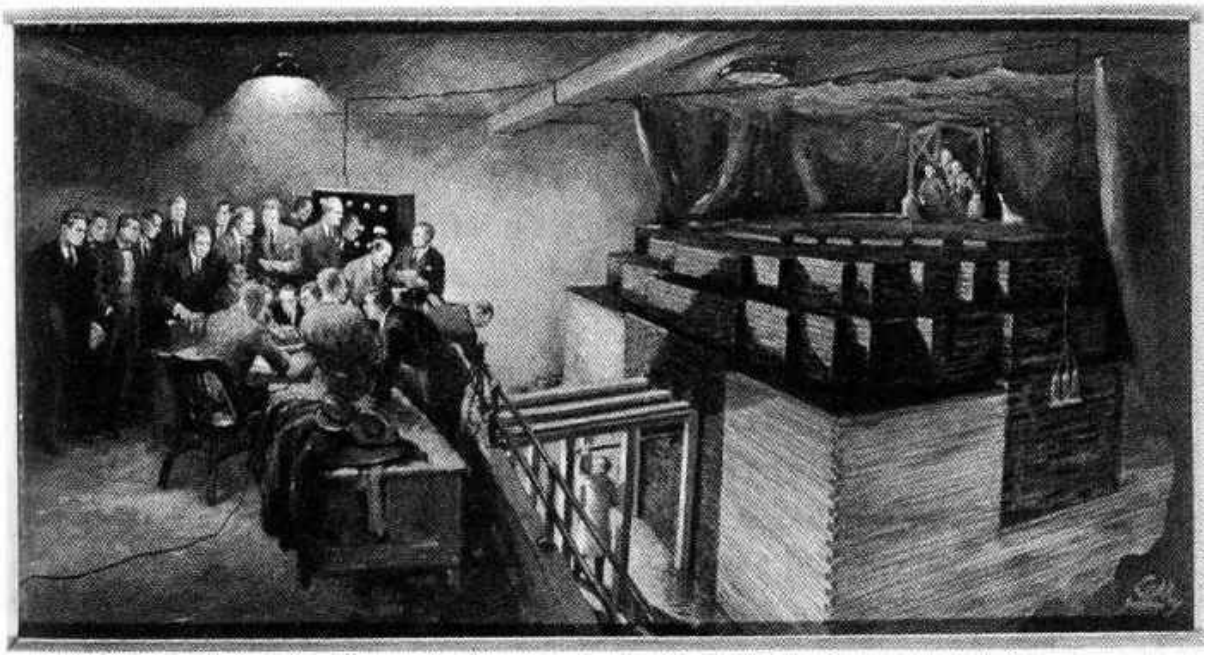


Fig. 51. *La primera pila nuclear, Chicago*. Pintura de Gary Sheahan (1942). <<

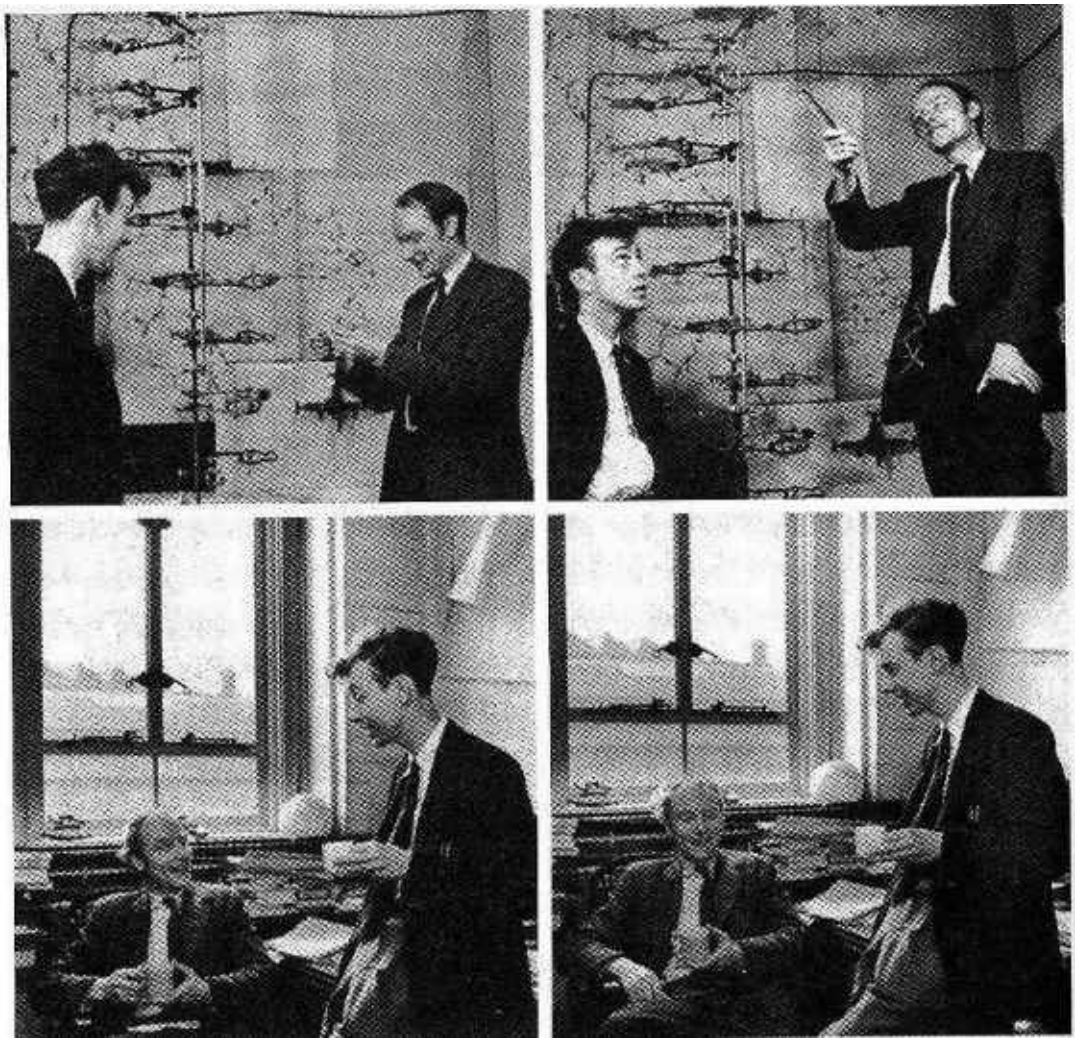


Fig. 52. Fotografías de James Watson y Francis Crick con un modelo del ADN, Laboratorio Cavendish, Cambridge (mayo de 1953). Contactos de fotografías de Antony Barrington-Brown. <<

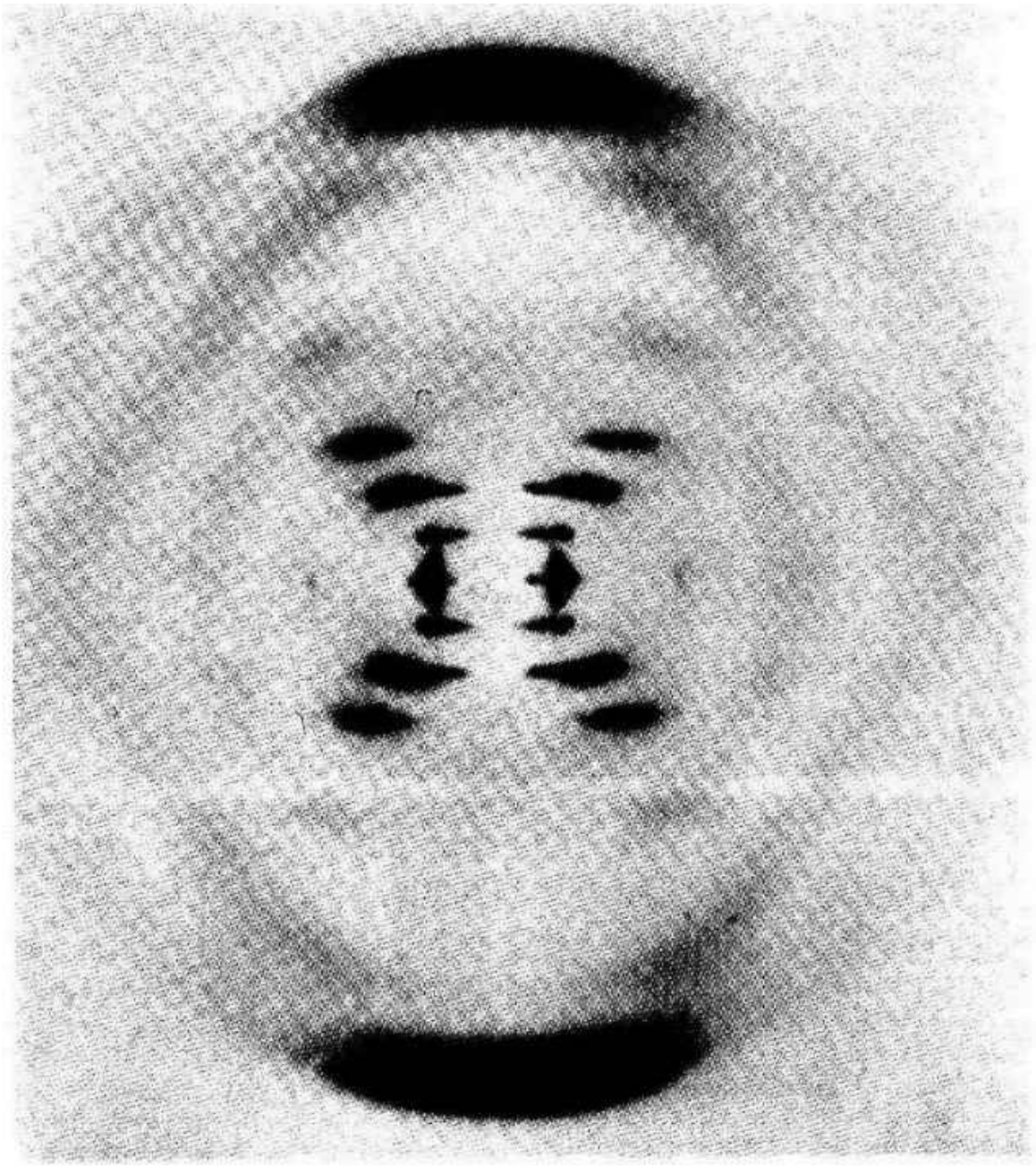


Fig. 53. Fotografía de difracción de rayos X del ADN tomada por Rosalind Franklin y Ray Gosling (2 de mayo de 1952). <<

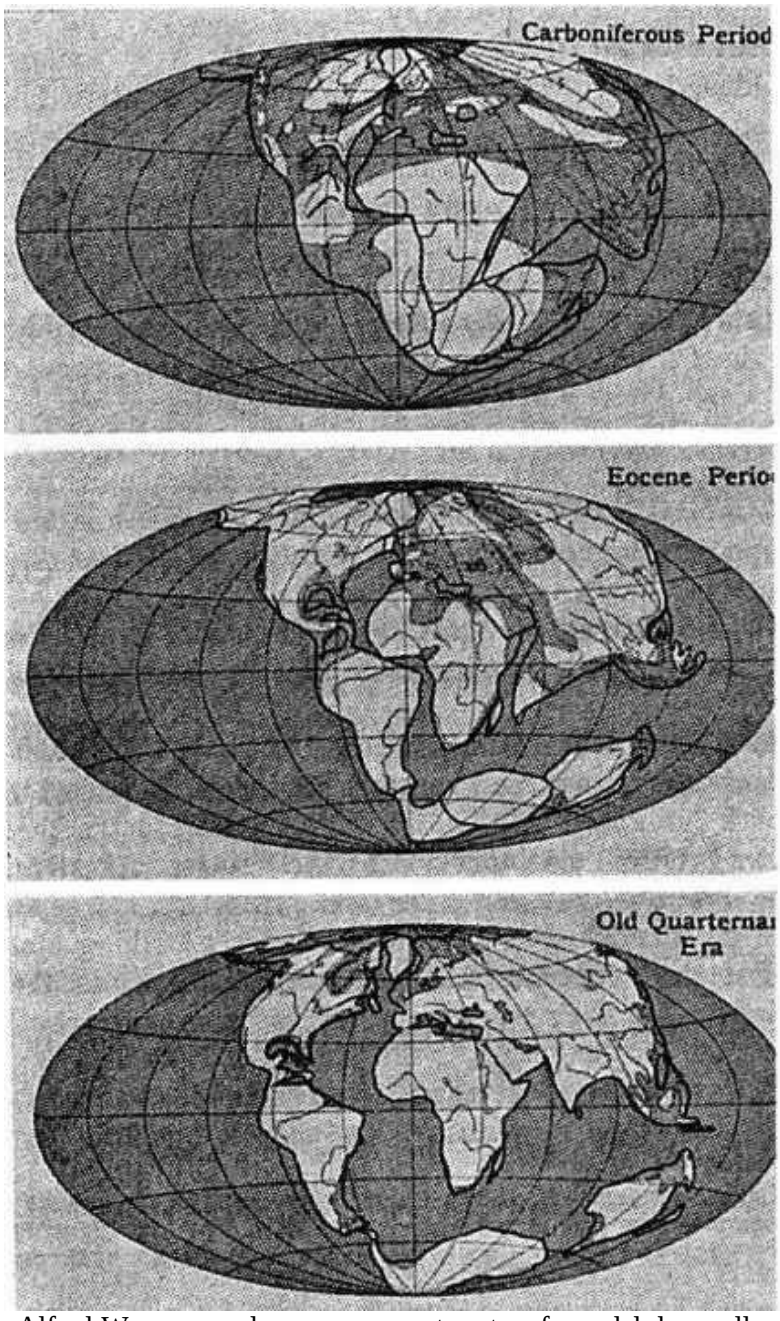


Fig. 54. Mapas de Alfred Wegener en los que se muestran tres fases del desarrollo de la Tierra. Alfred Wegener, *El origen de los continentes y los océanos* (1924). <<

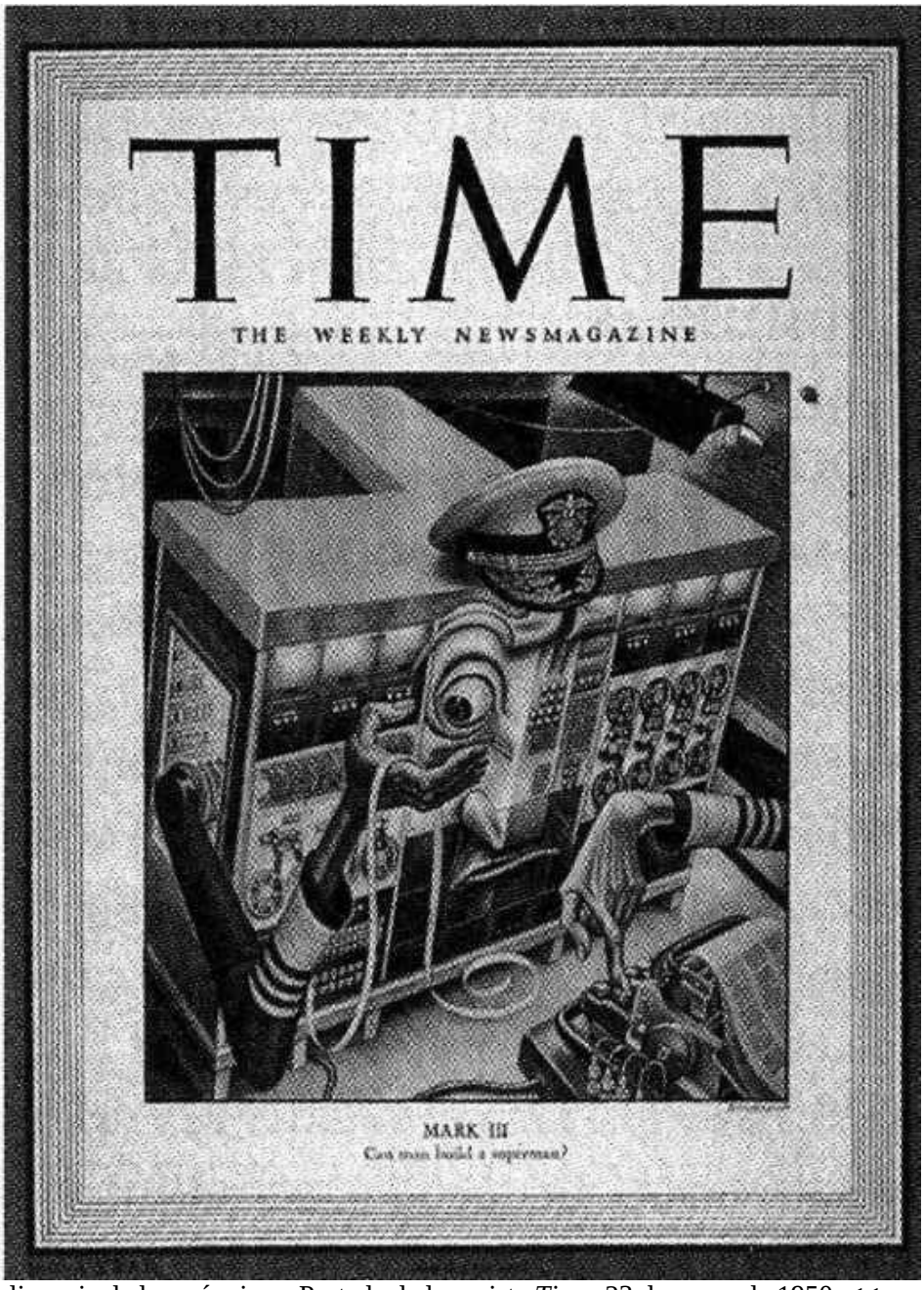


Fig. 55. Inteligencia de las máquinas. Portada de la revista *Time*, 23 de enero de 1950. <<

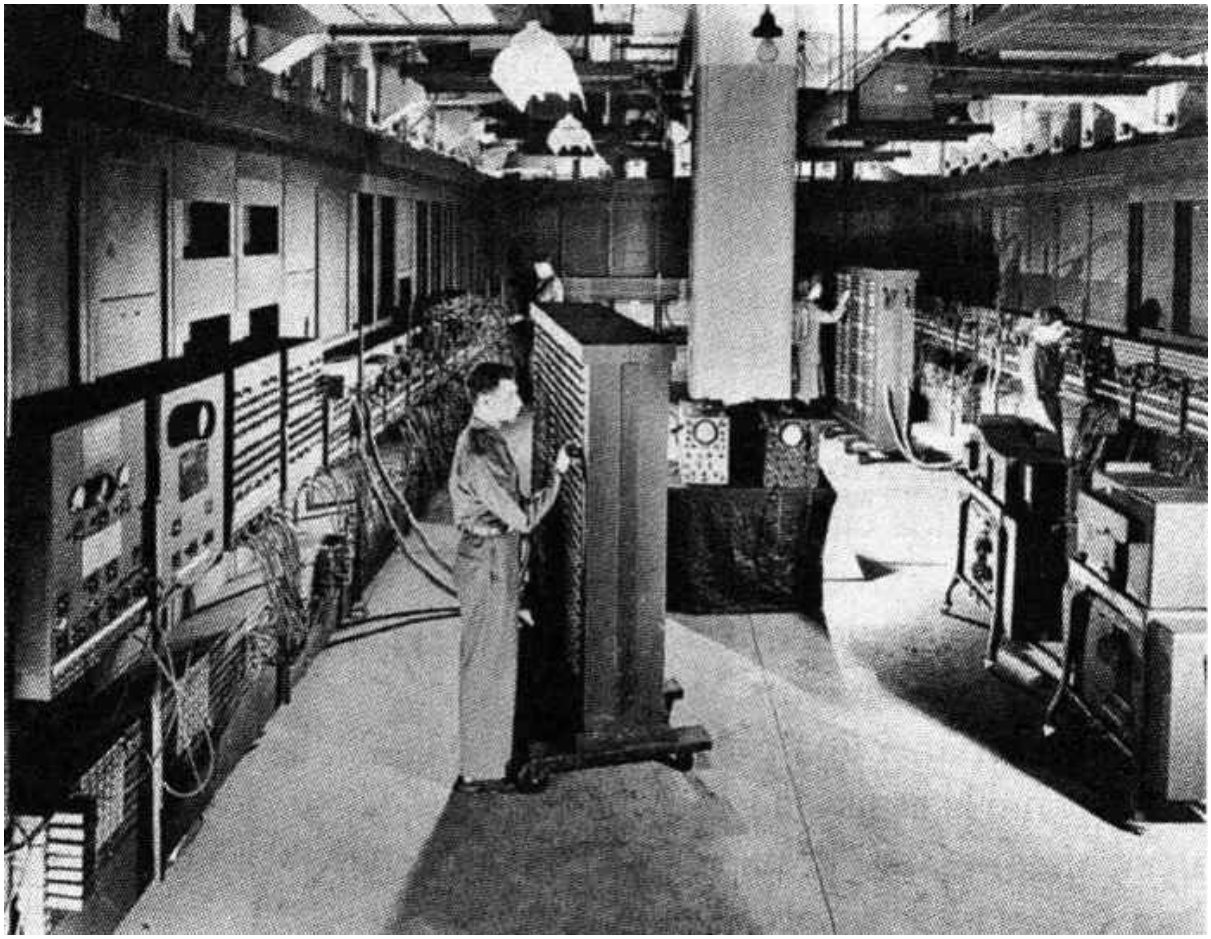


Fig. 56. *Electronic Numerical lntegrator and Calculator (ENIAC)*, 1945. <<

Fig. 57. «Acorde con los tiempos. ¡África!». Yuri Gagarin saluda a África desde el espacio. BOCTOK (Vostok) significa «EL ESTE». *The Morning of the Cosmic Era* (1961). <<

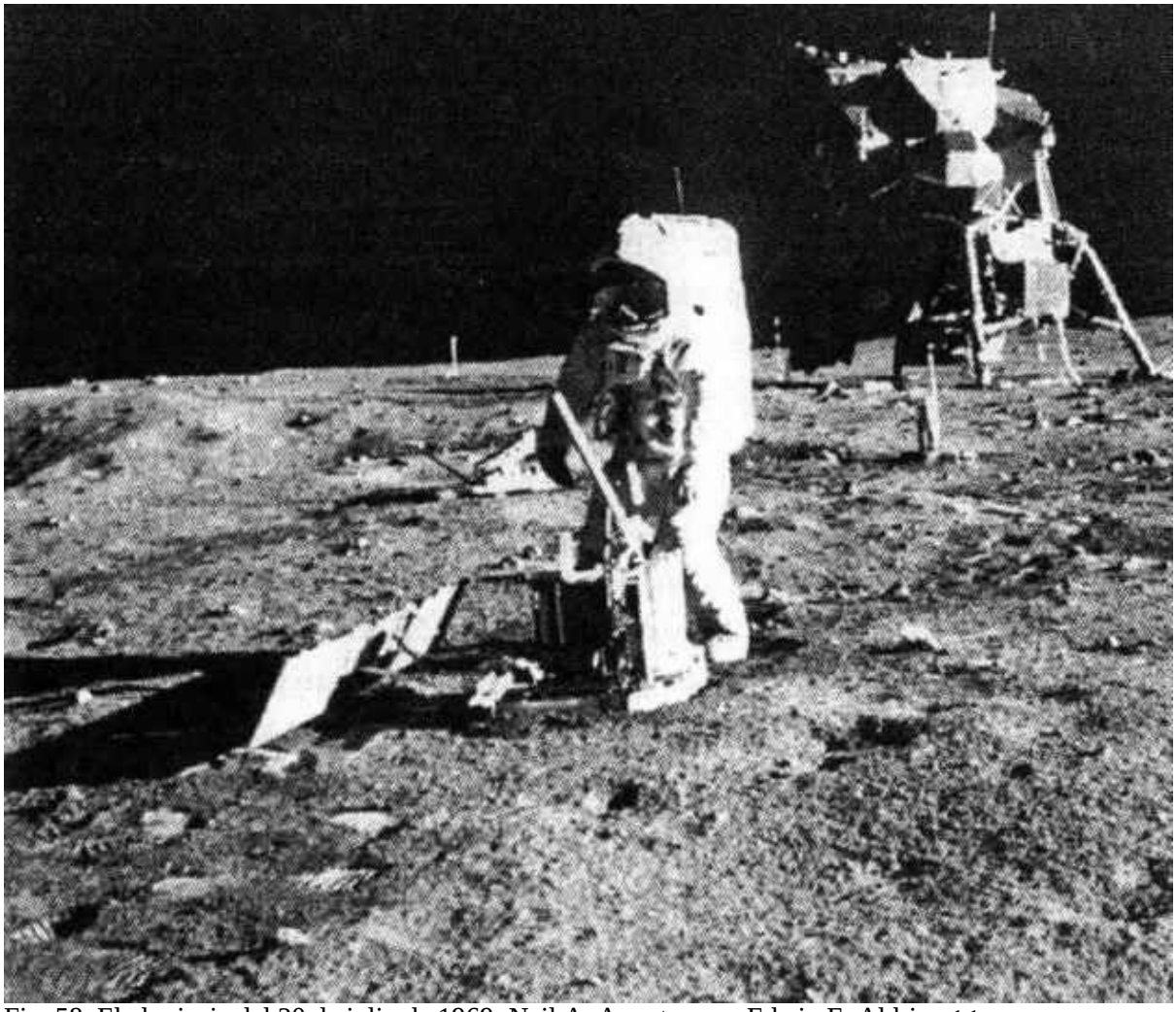


Fig. 58. El alunizaje del 20 de julio de 1969: Neil A. Armstrong y Edwin E. Aldrin. <<

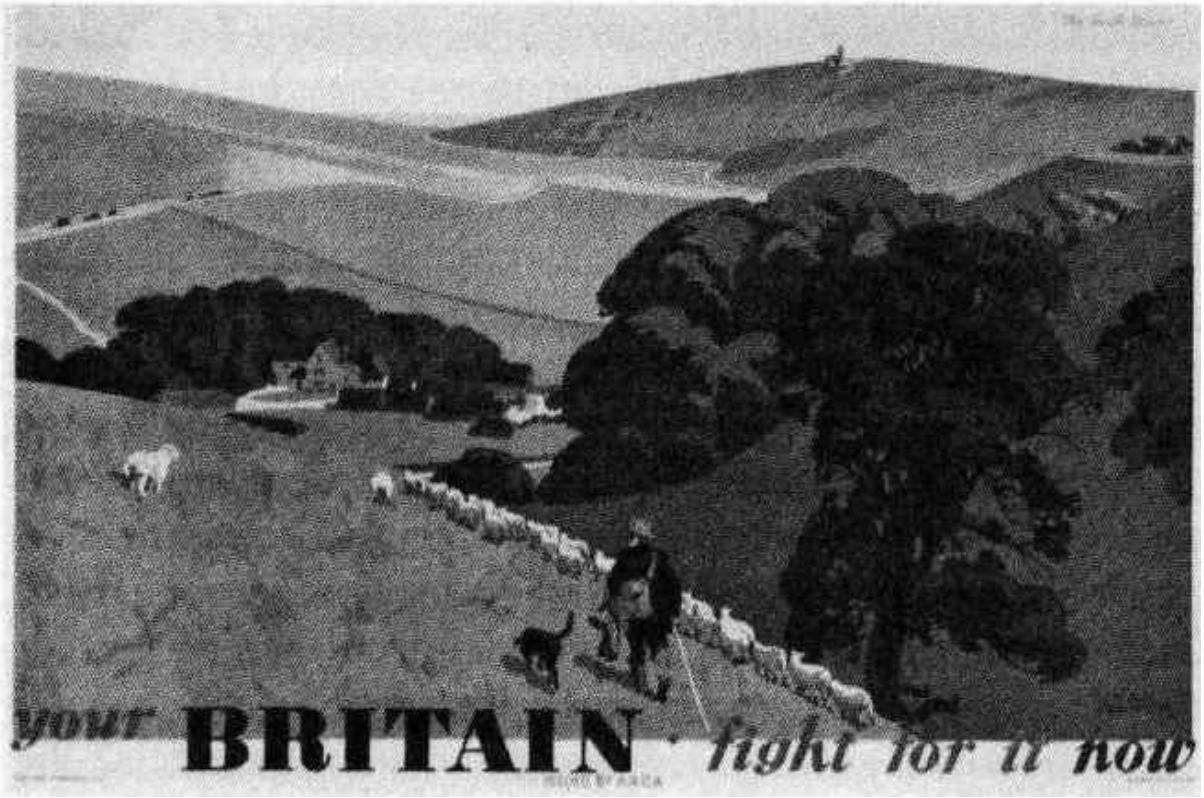


Fig. 59. «Esta es tu Gran Bretaña… Lucha por ella ahora». Póster de la segunda guerra mundial, Frank Newbould. <<

Créditos de las imágenes

Akg-images: 42; Musée Condé, Chantilly/akg-images: 2; Argonne National Laboratory, Estados Unidos: 51; (c) S. McArthur/Artarom: 1; The Art Archive: 7, 9, 13, 35; The British Library/The Art Archive: 10; Ironbridge Gorge Museum/The Art Archive: 27; Cortesía de Warden & Scholars of New College, Oxford/The Bridgeman Art Library: 21; The Science Museum/The Bridgeman Art Library: 32; Yale Center for British Art, Paul Mellon Collection, Estados Unidos/The Bridgeman Art Library: 20; The British Museum: 26; Cambridge University Library: 24, 33,34,38; Bettmann/Corbis: 50; Derby Museums and Art Gallery: 22; Mary Evans Picture Library: 31, 36, 43; Cortesía de Roger Gaskell Rare Books: 11,16; Time Life Pictures/Getty Images: 55; Sonia Halliday Photographs: 8; Oxford Science Archive/Heritage Image Partnership: 54; Nick Hopwood: 41; Imperial War Museum: 59; Institut International de Physique Solvay, Bruselas: 49; © 1942 The Kosciuszko Foundation: 14; Leiden University Library: 6; The Metropolitan Museum of Art, adquisición, Mr. y Mrs. Charles Wrightsman Gift, en honor de Everett Fahy, 1977 (1977.10): 28; Museum ofthe History of Science, Oxford: 40; cortesía de NASA: 58; National Portrait Gallery, Londres: 48; The Royal Observatory, Edinburgh: 5; The Royal Society: 23, 29; The National Gallery/photo © 2005 Ann Ronan/HIP/Scala, Florencia: 12; Science Photo Library: 53; Cari Anderson/Science Photo Library: 45; Antony Barrington-Brown/Science Photo Library: 52; George Bernard/Science Photo Library: 44; University College London Library: 3; US Army Photo: 56; Wellcome Library, Londres: 30; Whipple Museum of the History of Science, University of Cambridge: 4.

Fuentes

Breve historia de la ciencia tiene la finalidad de ofrecer una presentación introductoria del pasado de la ciencia, así que no he incluido las numerosas notas a pie de página habituales en los textos académicos, aunque sí he especificado el origen de todas las citas directas. Estoy en deuda con el trabajo de numerosos intelectuales, y una lista completa de lecturas sería excesivamente larga. Sin embargo, quisiera expresar mi gratitud de forma especial a los autores de los siguientes libros y artículos, en los que me he basado especialmente.

Introducción

Vi por primera vez el mapa del mundo australiano en Jeremy Black, *Maps and Politics*, Londres, Reaktion, 1997.

I. Orígenes

1. Sietes

Tomé varios ejemplos de conjuntos de siete especiales de Anne-Marie Schimmel, *The Mystery of Numbers*, Nueva York-Oxford, Oxford University Press, 1993, pp. 127-155.

2. Babilonia

Estoy en deuda con Eleanor Robson por su asesoramiento sobre la antigua Babilonia, así como por su pionero artículo «More than Metrology:

Mathematics Education in an Oíd Babylonian Scribal School», en John M. Steele y Annette Imhausen (eds.), *Under One Sky: Astronomy and Mathematics in the Ancient Near East*, Munster, Ugarit-Verlag, 2002, pp. 325-365. Mis otras fuentes especializadas fueron principalmente David Brown, *Mesopotamian Planetary Astronomy-Astrology*, Groningen, Styx, 2000, y Francesca Rochberg, *The Heavenly Writing: Divination, Horoscope, and Astronomy in Mesopotamian Culture*, Cambridge, Cambridge University Press, 2004.

3-7. De héroes a tecnología

Mis principales fuentes han sido los dos textos clásicos de Geoffrey E. R. Lloyd: *Early Greek Science: Thales to Aristotle*, Londres, Chatto and Windus, 1970 y Greek Science after Aristotle, Londres, Chatto and Windus, 1973. También he utilizado material de Andrew Gregory, *Eureka! The Birth of Science*, Duxford, Icon, 2001, y Serafina Cuomo, *Pappus of Alexandria and the Mathematics of Late Antiquity*, Cambridge, Cambridge University Press, 2000.

II. Interacciones

1. Eurocentrismo

Me he basado en tres fuentes principales: Zachary Lockman, *Contending Visions ofthe Middle East: The History and Politics of Orientalism*, Cambridge, Cambridge University Press, 2004, esp. pp. 8-65; John M. Hobson, *The Eastern Origins of Western Civilisation*, Cambridge, Cambridge University Press, 2004, esp. caps. 1 y 5; y Julia M. H. Smith, *Europe after Rome: A New Cultural History*, Oxford, Oxford University Press, 2005, esp. Introducción y cap. 8.

2. China

Mi resumen de la vida y el impacto de Needham lo he tomado del artículo correspondiente del *Oxford Dictionary of National Biography*, de Gregory Blue, y también de Francesca Bray, «Eloge of Joseph Needham», *Isis*, n.º 87 (1996), pp. 312-317. Mi principal guía para la obra de Joseph Needham

Science and Civilisation in China ha sido el volumen 7.2, editado por Kenneth Robinson y que contiene una valiosa introducción de Mark Elvin. He utilizado también dos resúmenes de Nathan Sivin: «Science in China's Past», en Leo A. Orleans (ed.), *Science in Contemporary China*, Stanford, Stanford University Press, 1980, pp. 1-29; y «Editor's Introduction», en Joseph Needham (ed.), Science and Civilisation in China, vol. 6.6, Cambridge, Cambridge University Press, 2000, pp. 1-37 (con un especial énfasis en medicina). Para un análisis general me he basado en Toby E. Huff, *The Rise of Early Modern Science: Islam, China and the West*, Cambridge, Cambridge University Press, 1993, pp. 237-320; y John M. Hobson, *The Eastern Origins of Western Civilisation*, Cambridge, Cambridge University Press, 2004, cap. 3. La parte sobre Shen Gua se basa principalmente en Nathan Sivin, «Shen Gua», en *Dictionary of Scientific Biography*, xii, pp. 369-393, que ofrece también una excelente visión de conjunto sobre la civilización china alrededor del siglo XI. Supe de la existencia de Wang-Ho en William H. McNeill, *The Pursuit of Power: Technology, Armed Forcé and Society since AD 1000*, Oxford, Basil Blackwell, 1983, p. 41.

3-4. Islam e intelecto

El texto por el que me he guiado para presentar una perspectiva islámica fue *Seyyed Hossein Nasr, Science and Civilisation in Islam*, Cambridge, MA, Harvard University Press, 1968. También he recurrido a Michael Hoskin (ed.), *Astronomy*, Cambridge, Cambridge University Press, 1997, y Toby E. Huff, *The Rise of Early Modern Science: Islam, China and the West*, Cambridge, Cambridge University Press, 1993. Para el proyecto de traducción de Bagdad he utilizado Dimitri Gutas, *Greek Thought, Arabic Culture: The Graeco-Arabic Translation Movement in Bagbdad and Early Ab-basid Society*, Londres, Routledge, 1998.

5-6. Europa y Aristóteles

Mis principales fuentes estándar han sido David C. Lindberg, *The Beginnings of Western Science: The European Scientific Tradition in Philosophical, Religious, and Institutional Context*, 600 BC to AD 1450, Chicago-Londres, University of Chicago Press, 1992, y Edward Grant, *The Foundations of Modern Science in the Middle Ages*, Cambridge, Cambridge University Press, 1996. Mis ejemplos de cambios en la agricultura proceden

de John M. Hobson, *The Eastern Origins of Western Civilisation*, Cambridge, Cambridge University Press, 2004, cap. 9. Para los ventanales de los gremios de Chartres he empleado Jane Welch Williams, *Bread, Wine, and Money: The Windows ofthe Trades at Chartres Cathedral*, Chicago-Londres, University of Chicago Press, 1993. Mis conocimientos de la óptica medieval los he extraído sobre todo de los caps. 3 y 4 de Dalibor Vesely, *Architecture in the Age of Divided Representaron: The Question of Creativity in the Shadow of Production*, Cambridge, MA, MIT Press, 2004. Mis principales fuentes sobre tiempo y relojes han sido Jo Ellen Barnett, *Time's Pendulum: The Quest to Capture Time-From Sundials to Atomic Clocks*, Nueva York-Londres, Plenum, 1998; David S. Landes, *Revolution in Time: Clocks and the Making of the Modern World*, Cambridge, MA-Londres, Harvard University Press, 1983, y Samuel Macey, *Clocks and the Cosmos: Time in Western Life and Thought*, Hamden, CT, Archon Books, 1980.

7. Alquimia

Para el análisis me he apoyado sobre todo en dos guías recientes: Bruce T. Moran, *Distilling Knowledge: Alchemy, Chemistry, and the Scientific Revolution*, Cambridge, MA-Londres, Harvard University Press, 2005, y la breve introducción de Stanton J. Linden, *The Alchemy Reader: From Hermes Trismegistus to Isaac Newton*, Cambridge, Cambridge University Press, 2003. También he utilizado William Eamon, *Science and tbe Secrets of Nature: Books of Secrets in Medieval and Early Modern Culture*, Princeton, Princeton University Press, 1994, esp. pp. 15-90, y W. F. Ryan y Charles B. Schmitt (eds.), *Pseudo-Aristotle, The «Secret of Secrets»: Sources and Influences*, Londres, Warburg Institute, 1982.

III. Experimentos

1. Exploración

Mis principales fuentes sobre impresión, transformación en bienes y comunicación han sido Lisa Jardine, Worldly Goods: *A New History ofthe Renaissance*, Londres, Macmillan, 1996, y Jessica Wolfe, Humanism, *Machinery, and Renaissance Literature*, Cambridge, Cambridge University Press, 2004, esp. pp. 96-103 para Holbein, tratado en detalle en Susan Foister,

Ashok Roy y Martin Wyld, *Holbein's Ambassadors*, Londres, National Gallery Publications, 1997, esp. pp. 30-43. He utilizado intensivamente las siguientes colecciones, que contienen algunos ensayos maravillosos: Pamela H. Smith y Paula Findlen (eds.), *Merchants and Marvels: Commerce, Science and Art in Early Modern Europe*, Nueva York-Londres, Routledge, 2002, esp. la introducción de las editoras, cap. I (Larry Silver y Pamela Smith, «The Powers of Nature and Art in the Age of Dürer»), cap. 2 (Pamela Long, «Objects of Art/Objects of Nature») y cap. 12 (Paula Findlen, «Inventing Nature» sobre los gabinetes de curiosidades); N. Jardine, J. A. Secord y E. C. Spary (eds.), *Cultures of Natural History*, Cambridge, Cambridge University Press, 1996, esp. cap. 2 (William Ashworth, «Emblematic Natural History of the Renaissance», la fuente de mis comentarios sobre el zorro de Gesner) y cap. 4 (Paula Findlen, «Courting Nature», sobre la historia natural en la corte); Londa Schiebinger y Claudia Swan (eds), *Colonial Botany: Science, Commerce, and Politics in the Early Modern World*, Philadelphia, University of Pennsylvania Press, 2005, esp. la introducción de las editoras, cap. 5 (Daniela Bleichmar, «Books, Bodies and Fields» sobre las medicinas del Nuevo Mundo en Europa) y cap. 12 (Judith Carney, «Out of África» sobre el arroz y otras exportaciones). También he incorporado reflexiones de Brian W. Ogilvie, *The Science of Describing: Natural History in Renaissance* Europe, Chicago-Londres, University of Chicago Press, 2006.

2. Magia

Para *La tempestad* he utilizado las notas de Frank Kermode en la edición de Arden de 1954, así como Francés A. Yates, *Theatre of the World*, Londres, Routledge and Kegan Paul, 1987, y Charles Nicholl, *The Chemical Theatre*, Londres, Routledge and Kegan Paul, 1980. Aparte de los textos fundamentales sobre la magia de Agrippa: Francés Yates, *Giordano Bruno and the Hermetic Tradition*, Londres, Routledge and Kegan Paul, 1964; y *The Occult Philosophy in the Elizabethan Age*, Londres, Routledge and Kegan Paul, 1979; también he utilizado los ensayos de Brian Copenhaver y William Eamon en David C. Lindberg y Robert S. Westman, *Reappraisals of the Scientific Revolution*, Cambridge, Cambridge University Press, 1990. Para John Dee he recurrido a Peter J. French, *John Dee: The World of an Elizabethan Magus*, Londres, Routledge and Kegan Paul, 1972; y Nicholas H. Clulee, *John Dee's Natural Philosophy: Between Science and Religión*, Londres-Nueva York, Routledge, 1988; para conocer su experimental estilo

de vida me he inspirado en el espléndido artículo de Deborah E. Harkness, «Managing an Experimental Household: The Dees of Mortlake and the Practice of Natural Philosophy», *Isis*, n.º 88 (1997), pp. 247-262. Para la alquimia y Paracelso he usado sobre todo Bruce T. Moran, *Distilling Knowledge: Alchemy, Chemistry, and the Scientific Revolution*, Cambridge, MA-Londres, Harvard University Press, 2005.

3. Astronomía

Para las estrategias y la influencia de Copérnico he recurrido sobre todo a Owen Gingerich, «The Copernican Quinquecentennial and its Predecessors: Historical Insights and National Agendas», Osiris, n.º 14 (1999), pp. 37-60, y Robert Westman, «Proof, Poetics, and Patronage: Copernicus's Preface to *De Revolutionibus*», en D. C. Lindberg y R. S. Westman (eds.), *Reappraisals ofthe Scientific Revolution*, Cambridge, Cambridge University Press, 1990, pp. 167-205. Para el estado de los inicios de la astronomía moderna he utilizado Westman, «The Astronomer's Role in the Sixteenth Century: A Preliminary Study», *History of Science*, n.º 18 (1980), pp. 105-147 y Nicholas Jardine, «The Places of Astronomy in Early Modern Culture», *Journal for the History of Astronomy*, n.º 29 (1998), pp. 49-62. El mejor comentario acerca de la iconografía de Tycho Brahe se halla en John Robert Christianson, *On Tycho's Island: Tycho Brahe and His Assistants, 1570-1601*, Cambridge, Cambridge University Press, 2000. Para Galileo me he valido de Mario Biagioli, *Galileo, Courtier: The Practice of Science in the Culture of Absolutism*, Chicago-Londres, Chicago University Press, 1993, y David Lindberg, «Galileo, the Church, and the Cosmos», en David C. Lindberg y Ronald L. Numbers, *When Science and Christianity Meet*, Chicago-Londres, University of Chicago Press, 1993.

4. Cuerpos

Mi principal fuente para Vesalius y Fabricius ha sido Andrew Cunningham, *The Anatomical Renaissance: The Resurrection of the Anatomical Projects of the Ancients*, Aldershot, Scolar Press, 1997. Para la imaginería artística de Vesalius he utilizado el ensayo de Pamela Long «Objects of Art/Objects of Nature», en Pamela H. Smith y Paula Findlen (eds.), *Merchants and Marvels: Commerce, Science and Art in Early Modern Europe*, Nueva York-Londres, Routledge, 2002, y también el cap. 5 de

Katharine Park, *Secrets of Wornen: Gender, Generation, and the Origins of Human Dissection*, Nueva York, Zone Books, 2006

5. Máquinas

He tomado comentarios sobre el tiempo de Harold Cook, «Time's Bodies», en Pamela H. Smith y Paula Findlen (eds.), *Merchants and Marvels: Commerce, Science and Art in Early Modern Europe*, Nueva York-Londres, Routledge, 2002, y Rob Iliffe, «The Masculine Birth of Time: Temporal Frameworks of Early Modern Natural Philosophy», *British Journal for the History of Science*, n.º 33 (2000), pp. 427-453. Para los aspectos científicos del pensamiento de Descartes me he apoyado en Stephen Gaukroger, *Descartes's System of Natural Pbilosophy*, Cambridge, Cambridge University Press, 2002, y William B. Ashworth, «Christianity and the Mechanistic Universe», en David C. Lindberg y Ronald L. Numbers (eds.), *When Science and Christianity Meet*, Chicago-Londres, University of Chicago Press, 1993, pp. 61-84.

6. Instrumentos

He basado mi análisis sobre instrumentos en el artículo clásico de Jim Bennett «The Mechanics: Philosophy and the Mechanical Philosophy», *History of Science*, n.º 24 (1986), pp. 1-28. Para Hooke he recurrido especialmente a Michael Dennis, «Graphic Understanding: Instruments and Interpretation in Robert Hooke's *Micrographia», Science in Context*, n.º 3 (1989), pp. 309-364. Para instrumentos y dispositivos de demostración he utilizado Thomas L. Hankins y Robert Silverman, *Instruments of the Imagination*, Princeton, NJ, Princeton University Press, 1995, y para el experimento del prisma de Newton, Simón Schaffer, «Glass Works», en David Gooding, Trevor Pinch y Simón Schaffer (eds.), *The Uses of Experiment: Studies in the Natural Sciences*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989.

7. Gravedad

Todas mis fuentes se hallan citadas en la bibliografía de mi libro *Newton: The Making of Genius*, Londres, Picador, 2002.

IV. Instituciones

1. Sociedades

Para los orígenes de la Royal Society, he recurrido a Michael Hunter, *Science and Society in Restoration England*, Cambridge, Cambridge University Press, 1981; y, para las expediciones del tránsito de Venus, a J. E. McClellan, *Science Reorganised: Scientific Societies in the Eigbteenth Century*, Nueva York, Columbia University Press, 1985. He basado mi análisis de Banks y el imperialismo en John Gascoigne, *Joseph Banks and the English Enlightenment*, Cambridge, Cambridge University Press, 1994; Science in the Service of Empire, Cambridge, Cambridge University Press, 1998; y Richard Drayton, *Nature's Government: Science, Imperial Britain, and the «Improvement of the World»*, New Haven, CT-Londres, Yale University Press, 2000.

2. Sistemas

He tomado mi narración de John Ray de Anna Pavord, *The Naming of Names: The Search for Order in the World of Plants*, Londres, Bloomsbury, 2005, pp. 372-394. Mi principal fuente para Linneo ha sido Lisbet Koerner, *Linnaeus: Nature and Nation*, Cambridge, MA-Londres, Harvard University Press, 1999. Para la historia de la globalización, mi mayor influencia ha sido C. A. Bayly, *The Birth of the Modern World 1780-1914: Global Connections and Comparisons*, Oxford, Blackwell, 2004, esp. pp. 1-83. Tomé el debate de la nuez moscada de E. C. Spary, «Of Nutmegs and Botanists», en Linda Schiebinger y Claudia Swan (eds.), *Colonial Botany: Science, Commerce, and Politics in the Early Modern World*, Philadelphia, University of Pennsylvania Press, 2005, y el caso del mono hermafrodita de Anna Maerker, «The Tale of the Hermaphrodite Monkey: Classification, State Interests and Natural Historical Expertise between Museum and Court, 1791-4», *British Journal for the History of Science*, n.º 39 (2006), pp. 29-47. Para los argumentos sobre razas he empleado David Bindman, *Ape to Apollo: Aesthetics and the Idea of Race in the Eighteenth Century*, Londres, Reaktion, 2002.

3. Carreras

He tomado el concepto del sistema de clases intelectuales de la ciencia de Berenice A. Carroll, «The Politics of Originality»: Women and the Class System of the Intellect, *Journal of Women's History*, n.º 2 (1990), pp. 136-163. Mi análisis de Davy procede de Jan Golinski, *Science as Public Culture: Chemistry and Enlightenment in Britain, 1760-1820*, Cambridge, Cambridge University Press, 1992, y mis ideas sobre Frankenstein y los nuevos hombres de ciencia se han originado en Ludmilla Jordanova, «Melancholy Reflection: Constructing an Identity for Unveilers of Nature», en Stephen Bann (ed.), *Frankenstein Creation and Monstrosity*, Londres, Reaktion Books, 1994, pp. 60-76.

4. Industrias

Mis ideas sobre Watt las he tomado de Christine MacLeod, «James Watt, Heroic Invention and the Idea of the Industrial Revolution», en Maxine Berg y Kristine Bruland (eds.), *Technological Revolutions in Europe: Historical Perspectives*, Cheltenham-Northampton, MA, Edward Elgar, 1998, pp. 96-111, y de David Philip Miller, «Puffing Jamie: The Commercial and Ideological Importance of Being a Philosopher in the Case of the Reputation of James Watt (1736-1819)», *History of Science*, n.º 38 (2000), pp. 1-24. Mis comentarios sobre la importancia de África se basan en Joseph E. Inikori, *Africans and the Industrial Revolution in England: A Study in International Trade and Economic Development*, Cambridge, Cambridge University Press, 2002. El mejor libro sobre la Lunar Society es Jenny Uglow, *The Lunar Men: The Friends Who Made the Future, 1730-1810*, Londres, Faber and Faber, 2002. La exclusión de los obreros y las mujeres en la poesía de Darwin la analiza Maureen McNeil, «The Scientific Muse: The Poetry of Erasmus Darwin», en Ludmilla Jordanova (ed.), *Languages of Nature: Critical Essays on Science and Literature*, Londres, Free Association Books, 1986, pp. 159-203, y Janet Browne, «Botany for Gentlemen: Erasmus Darwin and *The loves of the plants*», *Isis*, n.º 80 (1989), pp. 593-620; también he utilizado Deborah Valenze, *The First Industrial Woman*, Nueva York-Oxford, Oxford University Press, 1995.

5. Revoluciones

Para la química industrial me he apoyado principalmente en Colin Russell, *Science and Social Change 1700-1900*, Londres, Macmillan, 1983, pp. 96-135, pero la mejor documentación sobre la química británica durante la

Ilustración, incluido Humphry Davy, se encuentra en Jan Golinski, *Science as Public Culture: Chemistry and Enligbtenment in Britain*, 1760-1820, Cambridge, Cambridge University Press, 1992. Como fuente biográfica para Lavoisier he utilizado Jean-Pierre Poirier, *Lavoisier: Chemist, Biologist, Economist*, Philadelphia, University of Pennsylvania Press, 1993; para su carrera y su iconografía, los mejores análisis son los de Marco Beretta en su «Chemical Imagery and the Enlightenment of Matter», en William R. Shea (ed.), *Science and the Visual Image in tbe Enlightenment*, Cantón, MA, Science History Publications, 2000, pp. 57-88, e *Imaging a Career in Science: The Iconography of Antoine Laurent Lavoisier*, Cantón, MA, Science History Publications, 2001. Mi versión del laboratorio de William Lewis (Figura 29) procede sobre todo de E. W. Gibbs, «William Lewis, MB, FRS (1708-1781)», *Annals of Science*, n.º 8 (1952), pp. 122-151.

6. Racionalidad

Mi versión de Laplace se basa fundamentalmente en el ensayo de Robert Fox «Laplacian Physics», en *Historical Studies in the Physical Sciences*, n.º 4 (1974), pp. 89-136, reimpreso como cap. 18 de R. C. Olby et al (eds.), *Companion to the History of Modern Science*, Londres-Nueva York, Routledge, 1990. El texto clásico sobre metrología es Kula Witold, *Measures and Men*, Princeton, Princeton University Press, y también estoy en deuda con la obra de Ken Alder, en especial *The Measure of All Things: The Seven-Year Odyssey That Transformed the World*, Londres, Little, Brown, 2002, y su artículo sobre ingeniería en Francia en William Clark et al. (eds.), *The Sciences in Enlightened Europe*, Chicago-Londres, University of Chicago Press, 1999.

7. Disciplinas

Mi introducción inicial a estas ideas ha sido Andrew Cunningham, «Getting the Game Right: Some Plain Words on the Identity and Invention of Science», *Studies in the History and Philosophy of Science*, n.º 19 (1988), pp. 365-389. La controversia sobre el término «científico» la he tomado de Sydney Ross, «Scientist: The Story of a Word», *Annals of Science*, n.º 18 (1962), pp. 65-85, y también de Paul White, *Thomas Huxley: Making the «Man of Science»*, Cambridge, Cambridge University Press, 2003, esp. la introducción y la conclusión. Otras dos fuentes fundamentales para este capítulo han sido James A. Secord, *Victorian Sensation: The Extraordinary*

Publication, Reception, and Secret Authorship of Vestiges of the Natural History of Creation, Chicago-Londres, University of Chicago Press, 2000, y Martin Rudwick, *The New Science of Geology*, Ashgate, Variorum, 2004.

V. Leyes

1. Progreso

Mi principal fuente sobre edición y ciencia en el siglo XIX ha sido James A. Secord, *Victorian Sensation: The Extraordinary Publication, Reception, and Secret Authorship of Vestiges ofthe Natural History of Creation*, Chicago-Londres, University of Chicago Press, 2000, esp. pp. 41-56, 515-532. Mis comentarios sobre la BAAS y el método están basados en Richard Yeo, «Scientific Method and the Image of Science 1831-1891», en Roy MacLeod y Peter Collins (eds.), *The Parliament of Science: The Britisb Association for the Advancement of Science 1831-1981*, Northwood, Middx, Science Reviews, 1981, pp. 65-88. Mi primer encuentro con el sistema de clases intelectuales fue en Bernice A. Carroll, «The Politics of Originality: Women and the Class System of the Intellect», *Journal of Women's History*, n.º 2 (1990), pp. 136-163. La cuestión de los tejedores de Manchester se trata de forma excelente en Anne Secord, «Science in the Pub: Arrisan Botanists in Early Nineteenth-Century Lancashire», *History of Science*, n.º 32 (1994), pp. 269-315; para Mary Anning, véase Hugh Torrens, «Mary Anning (1799-1847) of Lyme: The Greatest Fossilist the World Ever Knew», *British Journal for the History of Science*, n.º 28 (1996), pp. 257-284. La mejor biografía de Mary Somerville es Kathryn A. Neeley, *Mary Somerville: Science, Illumination, and the Female Mind*, Cambridge, Cambridge University Press, 2001; las mejores versiones de su obra se encuentran en *Collected Works of Mary Somerville*, 9 vols… ed. e introd. de James A. Secord, Londres, Thoemmes Continuum, 2004.

2. Globalización

Mis fuentes principales sobre las influyentes visiones del Nuevo Mundo de Humboldt han sido Mary Louise Pratt, *Imperial Eyes: Travel Writing and Transculturation*, Londres-Nueva York, Rouledge, 1992, esp. pp. 105-197, y Michael Dettelbach, «Humboldtian Science», in N. Jardine, J. A. Secord y E.

C. Spary (eds.), *Cultures of Natural History*, Cambridge, Cambridge University Press, 1996, pp. 287-304; también he utilizado Nancy Leys Stepan, *Picturing Tropical Nature*, Londres, Reaktion, 2001, pp. 31-56. El innovador y ya clásico estudio sobre lenguajes visuales es Martin Rudwick, «The Emergence of a Visual Language for Geological Science 1760-1840», *History of Science*, n.º 14 (1976), pp. 149-195. Una excelente revisión de la ciencia colonial británica en el siglo XIX, con completas referencias, es Mark Harrison, «Science and the British Empire», *Isis*, n.º 96 (2005), pp. 56-63. El estudio fundamental sobre los inicios del magnetismo en la época victoriana es John Cawood, «The Magnetic Crusade: Science and Politics in Early Victorian Britain», *Isis*, n.º 70 (1979), pp. 493-518. Para telegrafía desde una perspectiva británica he usado Iwan Rhys Moras, *Frankenstein's Children: Electricity, Exhibition, and Experiment in Early-Nineteenth-Century Londres*, Princeton, NJ, Princeton University Press, 1998, pp. 194-230; para sus aspectos imperiales, la excelente explicación en Bruce Hunt, «Doing Science in a Global Empire», en Bernard Lightman (ed.), *Victorian Science in Context*, Chicago-Londres, Chicago University Press, 1997, pp. 312-333. La mejor fuente para Thomson y la telegrafía es Crosbie Smith y M. Norton Wise, *Energy and Empire: A Biograpbical Study of Lord Kelvin*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989, pp. 445-494, 649-683.

3. Objetividad

El artículo clásico sobre representación objetiva en el siglo XIX es Lorraine Daston y Peter Galison, «The Image of Objectivity», *Representations*, n.º 40 (1992), pp. 81-128. Sobre instrumentos y problemas de descifrado me he basado en Thomas L. Hankins y Robert Silverman, *Instruments of the Imagination*, Princeton, NJ, Princeton University Press, 1995, pp. 113-147, y Peter Galison, «Judgement Against Objectivity», en C. Jones y P. Galison (eds.), *Picturing Science Producing Art*, Londres: Routledge, 1998, pp. 327-359. Mis fuentes generales más importantes para mis comentarios sobre fotografía han sido John Tagg, *The Burden of Representaron: Essays on Photographies and Histories*, Londres, Palgrave, 1988; Peter Hamilton y Roger Hargreaves, *The Beautiful and the Damned: The Creation ofldentity in Nineteenth Century Photography*, Londres, Lund Humphries, 2001; Jennifer Tucker, *Nature Exposed: Photography as Eyewitness in Victorian Science*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 2005; he tomado también numerosas, ideas de Alex Soojung-Kim Pang,

«Stars should henceforth register themselves», *British Journal for the History of Science*, n.º 30 (1997), pp. 177-202, y Holly Rothermel, «Images of the Sun: Warren De la Rué, George Biddell Airy and Celestial Photography», *British Journal for the History of Sciencie*, n.º 26 (1993), pp. 137-169.

4. Dios

He basado mi comentario sobre el debate de evaluación de la oración y las batallas por la autoridad científica en la época victoriana en Frank M. Turner, *Contesting Cultural Authority: Essays in Victorian Intellectual Life*, Cambridge, Cambridge University Press, 1993, pp. 151-200. Para ciencias sociales y estadísticas he utilizado Theodore Porter, *The Rise of Statistical Thinking, 1820-1900*, Princeton, NJ, Princeton University Press, 1986. El mejor escritor sobre geología en el siglo XIX es Martin Rudwick: he consultado sus ensayos reunidos en su *The New Science of Geology: Studies in the Earth Sciences in the Age of Revolution*, Aldershot, Ashgate, 2004.

5. Evolución

Para Robert Chambers he consultado James A. Secord, *Victorian Sensation: The Extraordinary Publication, Reception, and Secret Authorship of Vestiges of the Natural History of Creation*, Chicago-Londres, University of Chicago Press, 2000, y la edición facsímil de University of Chicago Press, 1994, que incluye una excelente introducción de J. A. Secord. Para las caricaturas y la actitud de Darwin hacia las mujeres he utilizado dos ensayos en Bernard Lightman (ed.), *Victorian Science in Context*, Chicago-Londres, University of Chicago Press, 1987: James Paradis, «Satire and Science in Victorian Culture», pp. 143-175, y Evelyn Richards, «Redrawing the Boundaries: Darwinian Science and Victorian Women Intellectuals», pp. 119-142.

6. Poder

Para la información básica he consultado Iwan Rhys Morus, *When Physics Became King*, Chicago, Chicago University Press, 2005. Mis comparaciones entre Gran Bretaña, Francia, Estados Unidos y Alemania proceden de Terry Shinn, «The Industry, Research, and Education Nexus», en Mary Jo Nye (ed.), *The Cambridge History of Science*, vol. 5, Cambridge, Cambridge University Press, 2003, pp. 133-153, y de Joseph Ben-David, *The*

Scientist's Role in Society: A Comparative Study, Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1971. Para la modernización global, mi fuente ha sido C. A. Bayly, *The Birth ofthe Modern World 1780-1914*, Oxford, Blackwell, 2004, esp. pp. 284-324. Mis otras fuentes principales han sido James R. Bartholomew, *The Formation of Science in Japan: Building a Research Tradition*, New Haven, CT-Londres, Yale University Press, 1989; Nathan Sivin, «Science in China's Past», en Leo A. Orleans (ed.), *Science in Contemporary China*, Stanford, Stanford University Press, 1980, pp. 1-29; Zaheer Baber, *The Science of Empire: Scientific Knowledge, Civilisation, and Colonial Rule in India*, Albany, State University of Nueva York Press, 1996, y Satpal Sangwan, «Indian Response to European Science and Technology 1757-1857», *British Journal for the History of Science*, n.º 21 (1988), pp. 211-232.

7. Tiempo

He tomado mi explicación de los relojes neumáticos de París de Peter Galison, *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps*, Londres, Hodder and Stoughton, 2003, pp. 92-98; este maravilloso libro ha sido también mi fuente principal sobre Einstein y la relatividad. Sobre telegrafía y precisión he consultado Simón Schaffer, «Metrology, Metrication, and Victorian Values», en Bernard Lightman (ed.), *Victorian Science in Context*, Chicago-Londres, University of Chicago Press, 1987, pp. 438-474, y Simón Schaffer, «Accurate Measurement is an English Science», en M. Norton Wise (ed.), *The Values of Precisión*, Princeton, NJ, Princeton University Press, 1995, pp. 135-172. Einstein como héroe germánico aparece en Richard Staley, «On the Histories of Relativity: The Propagation and Elaboration of Relativity Theory in Participant Histories in Germany, 1905-11», *Isis*, n.º 89 (1998), pp. 263-299; mi versión de Eddington está basada en John Earman y Clark Glymour, «Relativity and Eclipses: The British Eclipse Expeditions of 1919 and their Predecessors», *Historical Studies in Physical Science*, n.º 11 (1980), pp. 49-85.

VI. Invisibles

1. Vida

Mis fuentes básicas de información han sido Peter Bowler, *Evolution: The History of an Idea*, Berkeley, University of California Press, 1984; y William Coleman, *Biology in the Nineteenth Century: Problems of Form, Function, and Transformation*, Cambridge, Cambridge University Press, 1997. He basado mis comentarios sobre la ciencia de Mary Shelley en la introducción de Marilyn Butler a Mary Shelley, *Frankenstein or The Modern Prometheus: The 1818 Text*, Oxford-Nueva York, Oxford University Press, 1993. Las relaciones entre historia natural y biología en el siglo XIX se comentan en Lynn K. Nyhart, «Natural History and the New Biology», en N. Jardine, J. A. Secord y E. C. Spary (eds.), *Cultures of Natural History*, Cambridge, Cambridge University Press, 1996, pp. 426-443. Para el debate Pasteur-Pouchet me he basado en Gerald L. Geison, *The Private Science of Louis Pasteur*, Princeton, NJ, Princeton University Press, 1995, pp. 110-142, y la versión más breve en John Waller, *Fabulous Science: Fact and Fiction in the History of Scientific Discovery*, Oxford, Oxford University Press, 2002, pp. 15-46. Sobre mi versión de los diagramas de Haeckel, estoy en deuda con Nick Hopwood, «Pictures of Evolution and Charges of Fraud: Ernst Haeckel's Embryological Illustrations», *Isis*, n.º 97 (2006), pp. 260-301.

2. Gérmenes

Los textos básicos que he consultado son Mark Harrison, *Disease and the Modern World: 1500 to the Present Day*, Cambridge, Polity Press, 2004, y William F. Bynum, *Science and the Practice of Medicine in the Nineteenth Century*, Cambridge, Cambridge University Press, 1994. Para mi análisis de Snow y Lister me he basado principalmente en John Waller, *Fabulous Science: Fact and Fiction in the History of Scientific Discovery*, Oxford, Oxford University Press, 2002, pp. 114-131,160-175. Para imágenes de enfermedad he utilizado Susan Sontag, *Illness as Metaphor*, Londres, Alien Lañe, 1979, y Sander L. Gilman, *Disease and Representation: Images of Illness from Madness to AIDS*, Ithaca, NY-Londres, Cornell University Press, 1988, pp. 245-272.

3. Rayos

Como historia estándar de la radiactividad he utilizado G. I. Brown, *Invisible Rays: The History of Radioactivity*, Stroud, Sutton, 2002. Para comentarios sobre espiritismo y fotografía he consultado Iwan Rhys Morus,

When Physics Became King, Chicago, Chicago University Press, 2005, y Jennifer Tucker, *Nature Exposed: Photograpby as Eyewitness in Victorian Science*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 2005. Mi explicación sobre los rayos N está tomada de Mary Jo Nye, *Science in the Provinces: Scientific Communities and Provincial Leadership in France, 1860-1930*, Berkeley-Londres, University of California Press, 1986, pp. 53-77.

4. Partículas

Mi información biográfica sobre Mendeleev procede principalmente del artículo de B. M. Kedrov en el *Dictionary of Scientific Biography*. Para las cámaras de niebla me he basado en Peter Galison y Alexi Assmus, «Artificial Clouds, Real Particles», in David Gooding, Trevor Pinch y Simón Schaffer (eds.), *The Uses of Experiment: Studies in the Natural Sciences*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989, pp. 225-274, y Peter Galison, *How Experiments End*, Chicago-Londres, University of Chicago Press, 1987. Para los quarks he recurrido a Michael Riordan, *The Hunting of the Quark: A True Story of Modern Physics*, Nueva York, Simón and Schuster, 1987; y, para la masa, a Gordon Kane, «The Mysteries of Mass», *Scientific American* (julio de 2005).

5. Genes

Para la información básica he utilizado Garland Alien, *Life Science in the Twentieth Century*, Cambridge, Cambridge University Pres, 1978; y también a dos libros de Peter Bowler, *Evolution: The History of an Idea*, Berkeley, University of California Press, 1984 y *The Fontana History of the Environmental Sciences*, Londres, Fontana Press, 1992. Los estrechos lazos entre la eugenesia en Estados Unidos y Alemania se ponen de manifiesto en Stefan Kühl, *The Nazi Question: Eugenics, American Racism, and Germán National Socialism*, Nueva York-Oxford, Oxford University Press, 1994. Los predecesores y la vida de Mendel se examinan en detalle en Robert Olby, *Origins of Mendelism*, Londres, Constable, 1966.

6. Sustancias químicas

He tomado información de fondo sobre medicina de Roy Porter, *The Greatest Benefit to Mankind: A Medical History of Humanity frorn Antiquity to the Present*, Londres, Harper Collins, 1997. Para los comentarios sobre las

diversas anemias he consultado Keith Wailoo, *Drawing Blood: Technology and Disease Identity in Twentieth-Century America*, Baltimore-Londres, Johns Hopkins University Press, 1997, y *Dying in the City ofthe Blues: Sickle Cell Anemia and the Politics of Race and Health*, Chapel Hill-Londres, University of North Carolina Press, 2001. Para mi análisis sobre Alexander Fleming me he basado en Robert Bud, «Penicillin and the New Elizabethans», *British Journal for the History of Science*, n.º 31 (1998), pp. 305-333, y John Waller, *Fabulous Science: Fact and Fiction in the History of Scientific Discovery*, Oxford, Oxford University Press, 2002, pp. 246-267 (y para la insulina, pp. 222-245). Para mis reflexiones sobre las hormonas sexuales y la píldora he empleado Nelly Oudshoorn, *Beyond the Natural Body: An Archaeology of Sex Hormones*, Londres-Nueva York, Routledge, 1994, y Suzanne White Junod y Lara Marks, «Women's Triais: The Approval of the First Contraceptive Pili», *Journal of the History of Medicine*, n.º 57 (2002), pp. 117-160. Mis comentarios sobre la Viagra están basados en Malcolm Potts, «Two Pilis, Two Paths: A Tale of Gender Bias», *Endeavour*, n.º 27 (2003), pp. 127-130.

7. Incertidumbres

Mi comentario inicial de Einstein y Freud lo he tomado principalmente de Clark, *Einstein: The Life and Times*, Londres, Hodder and Stoughton, 1973, pp. 297-355. Mi fuente principal para la fotografía de Freud ha sido J. C. Spector, *The Aesthetics of Freud: A Study in Psychoanalysis and Art*, Westport, CT, Praeger, 1972; para su vida, he recurrido a Peter Gay, *Freud: A Life for our Time*, Londres, Dent, 1988, así como la breve pero excelente introducción a Sigmund Freud de James Strachey *Two Short Accounts of Psychoanalysis*, Londres, Penguin, 1991. Para psiquiatría militar he consultado Elaine Showalter, *The Female Malady: Women, Madness, and English Culture, 1830-1980*, Londres, Virago, 1987, pp. 167-219, y Hans Pols, «Waking up to Shell Shock: Psychiatry in the US Military during World War II», *Endeavour*, n.º 30 (2006), pp. 144-149.

VII. Decisiones

1. Guerra

Mi referencia básica sobre la ciencia británica y la guerra la he tomado de un texto clásico, Hilary Rose y Steven Rose, *Science and Society*, Harmondsworth, Penguin, 1969. Para la Gran Ciencia y el proyecto Manhattan me he basado en Jeff Hughes, *The Manhattan Project: Big Science and the Atorn Bomb*, Duxford, Icón, 2002, y Richard Rhodes, *The Making ofthe Atomic Bomb*, Londres, Penguin, 1986. Para una sólida reevaluación de las relaciones entre ciencia y tecnología he consultado David Edgerton, *The Shock of the Oíd: Technology and Global History since 1900*, Londres, Profile Books, 2007.

2. Herencia

Para ejemplos de iconografía de la hélice, he empleado Soraya de Chadarevian y Harmke Kamminga, *Representations of the Double Helix*, Cambridge, Whipple Museum, 2002. El relato de la fotografía lo he tomado de Soraya de Chadarevian, «Portrait of a Discovery: Watson, Crick, and the Double Helix», *Isis*, n.º 94 (2003), pp. 90-105. He basado mis comentarios sobre el ADN no solo en James D. Watson, *The Double Helix*, Londres, Penguin, 1997, con introducción de Steve Jones, sino también en Garland Alien, *Life Science in the Twentieth Century*, Cambridge, Cambridge University Press, 1978; Horace Freeland Judson, *The Eighth Day of Creation: Makers of the Revolution in Biology*, Londres, Jonathan Cape, 1979, y Brenda Maddox, *Rosalind Franklin: The Dark Lady of DNA*, Londres, Harper Collins, 2002. Mis fuentes esenciales sobre las implicaciones políticas de los genes han sido R. C. Lewontin, *Biology as Ideology: The Doctrine of an Idea*, Nueva York, Harper Perennial, 1991 y Jean-Paul Gaudilliére, «Globalization and Regulation in the Biotech World: The Transatlantic Debates over Cáncer Genes and Genetically Modified Crops», *Osiris*, n.º 21 (2006), pp. 251-272.

3. Cosmología

Mis principales referencias para Wegener y las relaciones entre geología y las ciencias de la Tierra han sido Robert Muir Wood, *The Dark Side of the Earth*, Londres, Allen and Unwin, 1985; David Oldroyd, *Thinking about the Earth: A History of Ideas in Geology*, Londres, Athlone, 1996, caps. 11 a 13, y Peter Bowler, *The Environmental Sciences*, Londres, Fontana, 1992, cap. 9. También he sacado provecho de una conferencia de Jon Agar, que me ayudó a reconsiderar la década de 1960 con una perspectiva nueva. Mi referencia sobre Leavitt ha sido George Johnson, *Miss Leavitt's Stars: The Untold Story*

of the Wornan Who Discovered How to Measure the Universe, Nueva York, Norton, 2005. Para informarme sobre la variable fortuna de la relatividad general he consultado Jean Eisenstaedt, *The Curious History of Relativity: How Einstein's Theory of Gravity Was Lost and Found Again*. Princeton, NJ, Princeton University Press, 2006. Para las distintas formas de concebir la ciencia me he inspirado en Peter Dear, *The Intelligibility of Nature: How Science Makes Sense of the World*, Chicago, University of Chicago Press, 2006.

4. Información

He utilizado como referencia sobre Alan Turing la biografía de Andrew Hodges, *Alan Turing: The Enigma*, Londres, Burnett Books, 1983; para documentarme sobre su trascendencia me he basado sobre todo en Jon Agar, *Turing and the Universal Machine: The Making of the Modern Computer*, Duxford, Icón, 2001. Mi énfasis sobre el secretismo y la guerra fría me lo ha inspirado Michael Aaron Dermis, «Secrecy and Science Revisited: From Politics to Histórica! Practice and Back», en Ronald E. Doel y Thomas Söderqvist (eds.), *The Historiography of Contemporary Science, Technology and Medicine: Writing Recent Science*, Londres-Nueva York, Routledge, 2006, pp. 172-184, y Paul N. Edwards, *The Closed World: Computers and the Politics of Discourse in Coid War America*, Cambridge, MA, MIT Press, 1996. El artículo original que acompaña la Figura 55, «The Thinking Machine», se encuentra en *Time* (23 de enero de 1950). (Está disponible en Internet).

5. Rivalidad

Mi principal referencia de información sobre la carrera espacial ha sido Walter A. McDougall, *The Heavens and the Earth: A Political History of the Space Age*, Nueva York, Basic Books, 1985. Para las implicaciones políticas de la energía nuclear me he basado sobre todo en los ensayos de John Krige and Kai-Henrik Barth (eds.), *Global Power Knowledge: Science and Technology in International Affairs* (*Osiris*, vol. 21); en particular, he tomado la conexión de la «Guerra de las galaxias» de Sheila Jasanoff, «Biotechnology and Empire: The Global Power of Seeds and Science», pp. 273-292. He tomado diversas reflexiones sobre la producción de conocimientos militar-científica de Michael Aaron Dennis, «Earthly Matters: On the Coid War and the Earth Sciences», *Social Studies of Science*, n.º 33 (2003), pp. 809-819.

6. Medio ambiente

Mis comentarios sobre paisaje y naturaleza salvaje se basan en William Cronon, «The Trouble with Wilderness: Or, Getting Back to the Wrong Nature», en William Cronon (ed.), *Uncommon Ground: Toward Reinventing Nature*, Nueva York-Londres, Norton, 1995, pp. 23-90; Mark Dowie, «Conservation Refugees», *Orion* (noviembre-diciembre de 2005), y Simón Schama, *Landscape and Memory*, Londres, Harper Collins, 1995. Para ecología y medio ambiente he consultado Peter J. Bowler, *The Fontana History of the Environmental Sciences*, Londres, Fontana Press, 1992, esp. pp. 503-553, y Donald Worster, *Nature's Economy: A History of Ecological Ideas*, Cambridge, Cambridge University Press, 1977. Para el impacto de Rachel Carson he utilizado el epílogo de Linda Lear en *Silent Spring*, Londres, Penguin, 1999. Mis comentarios sobre modelos meteorológicos por ordenador están basados en Mott T. Greene, «Looking for a General for Some Modern Major Models», *Endeavour*, n.º 30 (2006), pp. 55-59.

7. Futuros

Mis comentarios sobre la politización de los programas de desarrollo se basan en Alexis de Grieff y Mauricio Nieto Olarte, «What We Still Do Not Know about South-North Technoscientific Exchange: North-Centrism, Scientific Diffusion, and the Social Studies of Science», en Ronald E. Doel y Thomas Soderqvist (eds.), *The Historiography of Contemporary Science, Technology and Medicine: Writing Recent Science*, Londres-Nueva York, Routledge, 2006, pp. 239-259, y en Sheila Jasanoff, «Biotechnology and Empire: The Global Power of Seeds and Science», en John Krige y Kai-Henrik Barth (eds.), *Global Power Knowledge: Science and Technology in International Affairs*, *Osiris*, vol. 21, pp. 273-292. Mi enfoque de la innovación tecnológica basado en el uso lo he tomado de David Edgerton, *The Shock of the Old: Technology and Global History since 1900*, Londres, Profile Books, 2007.

Notas

[1] Citado en David Brown, *Mesopotamian Planetary Astronomy-Astrology*, Groningen, Styx, 2000, pp. 151,135 (con ligeros cambios). <<

[2] Citado en Eleanor Robson, *More than Metrology: Mathematics Education in an Old Babylonian Scribal School*, en John M. Steele y Annette Imhausen (eds.), *Under One Sky: Astronomy and Mathematics in the Ancient Near East*, Munster, Ugarit-Verlag, 2002, pp. 325-365, esp. pp. 349-352. <<

[3] John Locke, *An Essay concerning Human Understanding*, Oxford, Clarendon Press, 1975, pp. 446-447 (libro III, cap. 6, sección 12). <<

[4] Charles Singer, *Galen: On Anatomical Procedures*, Londres, Oxford University Press, 1956, p. 190. <<

[5] Demócrito, Fragmento 125. <<

[6] Samuel Johnson, Prefacio, *A Dictionary of the English Language*, 1755, no paginado. <<

[7] *Sir* Robert Gorden Menzies, citado en Sydney Morning Herald, 27 de abril de 1939. <<

[8] Citado en Nathan Sivin, *Science in China's Past*, en Leo A. Orleans (ed.), *Science in Contemporary China*, Stanford, Stanford University Press, 1980, pp. 1-29, esp. p. 6. <<

[9] Citado en Nathan Sivin, *Shen Gua*, en *Dictionary of Scientific Biography*, ed. Charles C. Gillispie, 16 vols., Nueva York, Scribner and Sons, 1970-1980, xii, pp. 369-393, esp. p. 390. <<

[10] Needham, citado en Toby E. Huff, The Rise of Early Modern Science: Islam, China and the West, Cambridge, Cambridge University Press, 1993, p. 314. <<

[11] De *The Rubaiyat of Omar Khayyam*, trad. Edward Fitzgerald, 1879. <<

[12] Abu Yusuf Ya’ qub ibn Ishaq Al-Kindi, citado en David C. Lindberg, *The Beginnings of Western Science: The European Scientific Tradition in Philosophical, Religious, and Institutional Context, 600 BC to AD 1450*, Chicago-Londres, University of Chicago Press, 1992, p. 176. <<

[13] Citado *ibid*. <<

[14] Roger Bacon, *Opus Maius*, citado en David C. Lindberg, *The Beginnings of Western Science*, p. 226. <<

[15] David C. Lindberg, *Roger Bacon's Philosophy of Nature*, Oxford, Clarendon Press, 1985, p. 5 (ligeramente modificado de la traducción de Lindberg). <<

[16] Del comentario de Alberto sobre Aristóteles *De Anima*, citado en Edward Grant, *The Foundations of Modern Science in the Middle Ages*, Cambridge, Cambridge University Press, 1996, p. 164. <<

[17] *Sir* Andrew Aguecheek y *Sir* Toby Belch, en William Shakespeare, *Twelfth Night*, Liii. <<

[18] Roger Bacon, *Excellent Discourse of the Admirable Force and Efficacie of Art and Nature*, frase inicial citada en Stanton J. Linden, *The Alchemy Reader: From Hermes Trismegistus to Isaac Newton*, Cambridge, Cambridge University Press, 2003, p. 13. <<

[19] Carta del 4 de Julio de 1471, citada en *Dictionary of Scientific Biography*, ed. Charles C. Gillispie, 16 vols., Nueva York, Scribner and Sons, 1970-1980, xi, p. 351. <<

[20] Citado en Paula Findlen, *Inventing Nature: Commerce, and Science in the Early Modern Cabinet of Curiosities*, en Pamela H. Smith y Paula Findlen (eds.), *Merchants and Marvels Commerce, Science and Art in Early Modern Europe*, Nueva York-Londres, Routledge, 2002, pp. 297-325,299 (Paris, 3 de febrero de 1644). <<

[21] John Maynard Keynes, *Newton, the Man*, en *The Royal Society Newton Tercentenary Celebrations*, Cambridge, Cambridge University Press, 1947, pp. 27-34, esp. p. 27. <<

[22] William Shakespeare, *The Tempest*, I .ii pp. 399-406. <<

[23] William Shakespeare, *A Midsummer Night's Dream*, II. i, pp166-167. <<

[24] John Dee, *Preface*, en *The Elements of Geometrie of the Most Auncient Philosopher Euclide of Megara*, trad Henry Billingsley, Londres, 1570, fragmentos Aj y Aij. <<

[25] Citado en Michael Hoskin (ed.), *Astronomy*, Cambridge, Cambridge University Press, 1997, p. 119. <<

[26] De la portada de *The Starry Messenger* (1610), citado en Mario Biagioli, *Galileo, Courtier: The Practice of Science in the Culture of Absolutism*, Chicago-Londres, Chicago University Press, 1993, p. 103. <<

[27] William Haryey, The *Circulation of the Blood and Other Writings*, trad. Kenneth Franklin, Londres, Everyman, 1990, p. 46. <<

[28] *Ibid*, p. 3. <<

[29] John Aubrey, citado en la introduction de Andrew Weir a *ibid*, p XXV. <<

[30] Citado de *L'Homme* en Stephen Gaukroger, *Descartes's System of Batural Philosophy*, Cambridge University Press, 2002, p. 180. <<

[31] Respuesta de Descartes a Frans Burman, citado en John Cottingaha, *Descartes*, Oxford, Basil Blackwell, 1986, pp. 120-121. <<

[32] Robert Boyle, *Notion of Nature*, citado en William B. Ashworth, *Christianity and the Mechanistic Universe*, en David C. Lindberg y Ronald L. Numbers (eds.), *When Science and Christianity Meet*, Chicago-Londres, University of Chicago Press, 1993, pp. 61-84, esp, p. 79. <<

[33] Francis Bacon, *The New Organon*, ed. Lisa Jardine y Michael Silverthorne, Cambridge, Cambridge University Press, 2000, p. 69 (Libro I, Aforismo LXXXIV). <<

[34] Robert Hooke, *Micrographia*, Londres, 1665, p. 4 del Prefacio no paginado. <<

[35] *Ibid*, pp. 210-211. <<

[36] Isaac Newton a Edmond Hailey, carta, 20 de junio de 1686, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull et al., 7 vols., Cambridge, Cambridge University Press, 1959-1977, ii, p. 437. <<

[37] George Byron, *Don Juan*, Harmondsworth, Penguin, 1973, p. 375 (canto X, estrofas 1-2). <<

[38] William Stukeley, *Memoirs of Sir Isaac Newton's Life, being some Account of his Family and Chiefly of the Junior Part of his Life*, ed. A. Hastings White, Londres, Taylor and Francis, 1936, p. 20. <<

[39] Isaac Newton a Robert Hooke, carta, 5 de febrero de 1676, Correspondence, i, p. 416. <<

[40] Carta a Willian Derham, citada en Stephen D. Snobelen, *On Reading Isaac Newton's «Principia» in the 18th Century*, *Endeavours*, 22 (1998), pp. 159-163, esp. p. 159. <<

[41] Carta a Caroline de Ansbach, noviembre de 1715, citada en H. G. Alexander, *The Leibniz-Clarke Correspondence*, Manchester, Manchester University Press, 1956, II. <<

[42] Francois-Marie Arouet Voltaire, *Letters on England*, trad. L. Tancock, Harmondsworth, Penguin, 1980, p. 68. <<

[43] Stephen Hales, *Vegetable Staticks*, ed. M. A. Hoskin, Londres, Oldbourne, 1969, p. 147. <<

[44] John Theophilus Desaguliers, *The Newtonian System of the World, the Best Model of Government: An Aliegorical Poem*, Londres, 1728, pp 22-24. <<

[45] Xavier Bichat, citado en Thomas S. Hall, *On Biological Analogs of Newtonian Paradigms*, *Philosophy of Science*, n.º 35 (1968), pp. 6-27, esp. p. 6. <<

[46] John Beale, citado en Michael Hunter, *Science and Society in Restoration England*, Cambridge, Cambridge University Press, 1981, p. 195. <<

[47] Citada en J. E. McClellan, *Science Reorganised: Scientific Societies in the Eighteenth Century*, Nueva Columbia University Press, 1985, p. 212. <<

[48] Robert Walton, en Mary Shelley, *Frankenstein or The Modern Prometheus: The 1818 Text*, Oxford-Nueva York, Oxford University Press, 1993, p. 7. <<

[49] Citado en Richard Drayton, *Nature's Government: Science, Imperial Britain, and the «Improvement of the World»*, New Haven-Londres, Yale University Press, 2000, p. 104. <<

[50] Ambos ejemplos de Richard Yeo, *Encyclopaedic Visions: Scientific Dictionaries and Enlightenment Culture*, Cambridge, Cambridge University Press, 2001, p. 31. <<

[51] Citado en L. Schiebinger, *Nature's Body: Gender in the Making of Modern Science*, Boston, Beacon Press, 1993, pp. 22-23. <<

[52] Lord Camden, citado en William Cobbett (ed.), *The Parliamentary History of England from the Earliest Period to the Year 1803*, vols. 13-36, Londres, Longman, 1812-1920, xvii, pp. 999-1000 (1774). <<

[53] Benjamin Martin, *The Young Gentleman and Lady's Philosophy*, 2 vols, Londres, 1759-1763, i, p. 319. <<

[54] Donald F. Bond, *The Spectator*, 5 vols., Oxford, Clarendon Press, 1965, i., p. 44 (12 de marzo de 1711). <<

[55] Humphry Davy, The Collected Works of *Sir* Humphry Davy, ed. John Davy, 9 vols., Londres, Smith, Elder, 1839-1840, ii, p. 319 (conferencia sobre química de 1802). <<

[56] David Miller, *«Puffing Jamie»; The Commercial and Ideological Importance of Being a «Philosopher» in the Case of the Reputation of James Watt (1736-1819)*, *History of Science*, n.º 38 (2000), pp. 1-24, esp. p. 2. <<

[57] Arthur Young, citado de *Annals of Agriculture* (1785) en Francis D. Klingender, *Art and the Industrial Revolution*, Londres, Paladin, 1968, p. 77. <<

[58] Joseph Priestley, *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, Londres, J. Johnson, 1774-1777, vol., i, p. xiv. <<

[59] Carta a Thomas Bentley, 1769, citada en Neil McKendrick, *Josiah Wedgwood and Factory Discipline*, *Historical Journal*, n.º4 (1961), pp. 30-55, esp. p. 34. <<

[60] James Boswell, citado en Jenny Uglow, *The Lunar Men; The Friends Who Made the, Future, 1730-1810*, Londres, Faber and Faber, 2002, p. xi. <<

[61] Citado en Jan Golinski, *Science as Public Culture: Chemistry and Enlightenment in Britain, 1760-1820,* Cambridge, Cambridge University Press, 1992, p. 147. <<

[62] Erasmus Darwin, *Loves of the Plants*, Londres, J. Johnson, 1794, canto II, 11., pp. 99-104. <<

[63] Friedrich Engels, citado en Francis Wheen, *Karl Marx*, Londres, Fourth Estate, 1999, p. 81. <<

[64] Le Turc, 1794, citado en Margaret Jacob, *Scientific Culture and the Making of the Industrial West*, Nueva York-Oxford, Oxford University Press, 1997, p. 165. <<

[65] Davy, *Collected Works*, viii, p. 282 (conferencia de 1808 sobre ciencia electroquímica). <<

[66] Citado de Max Planck, *A Scientific Autobiography* (1949), en Gerard Holton, *Thematic, Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein*, Cambridge, MA, Harvard University Press, 1973, p. 394. <<

[67] Probablemente Augustus de Morgan, citado en Charles Couston Gillispie, *Pierre-Simon Laplace, 1749-1827: A Life in Exact Science*, Princeton, Princeton University Press, 1997, p. 272. <<

[68] Jane Austen, *Pride and Prejudice* (1813, Ware), Wordsworth, 1992, p. 22. <<

[69] Adam Sedgwick, citado en James A. Secord, *Victorian Sensation: The Extraordinary Publication, Reception, and Secret Autharship of Vestiges of the Natural History of Creation*, Chicago-Londres, University of Chicago Press, 2000, p. 405. <<

[70] *De Personal Narrative*, citado en Mary Louise Pratt, *Imperial Eyes: Travel Writing and Transculturation*, Londres-Nueva York, Routledge, 1992, p. 130. <<

[71] William Thomson (1883), citado en Crosbie Smith y M. Norton Wise, *Energy and Empire: A Biographical Study of Lord Kelvin*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989, p. 455. <<

[72] *Times Literary Supplement* (17 de marzo de 1927), p. 167. <<

[73] Dos medicos britanicos de 1867, citado en Thomas L. Hankins y Robert Silverman, *Instruments of the Imagination*, Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 1995, p. 138. <<

[74] Gertrude M. Prescott, *Faraday: Image of the Man and the Collector*, en David Gooding y Frank James (eds.), *Faraday Rediscovered: Essays on the Life and Work of Michael Faraday*, 1791-1867, Nueva York, Macmillan, 1985, pp. 15-32, esp. p. 17. <<

[75] William Farr, citado en G. Gigerenzer et al., *The Empire of Chance: How Probability Changed Science and Everyday Life*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989, p. 38. <<

[76] Citado en Frank M. Turner, *Contesting Cultural Authority: Essays in Victorian Intellectual Life*, Cambridge, Cambridge University Press, 1993, p. 192. <<

[77] Robert Chambers, citado en Theodore Porter, *The Rise of Statistical Thinking*, 1820-1900, Princeton, NJ, Princeton University Press, 1986, p. 57. <<

[78] James Hutton, citado en David Goodman y Colin A. Russell, *The Rise of Scientific Europe 1500-1800*, Kent, Hodder and Stoughton, 1991, pp. 291,293. <<

[79] Thomas Henry Huxley, *On a Piece of Chalk* (1868), reproducido en Alan P. Barr, *The Major Prose of Thomas Henry Huxley*, Athens, Georgia-Londres, University of Georgia Press, 1997, pp. 154-173, esp. p. 156. <<

[80] Alfred Tennyson, In Memoriam, en Poems, ed. Christopher Ricks, Londres, Longman, 1969, pp. 909, 973; secc. 54,1. 5; secc. 123,II 1-4). <<

[81] Carta de Charles Darwin a Charles Lyell, citada en James A. Secord, *Victorian Sensation: The Extraordinary Publication, Reception, and Secret Authorship of Vestiges of the Natural History of Creation*, Chicago-Londres, University of Chicago Press, 2000, p. 431. <<

[82] Charles Darwin, *On The Origin of Species*, Oxford, Oxford University Press, 1996, p. 396. <<

[83] De Charles Darwin, *The Descent of Man*, 1871, p. 119, citado en Evelyn Richards, *Redrawing the Boundaries: Darwinian Science and Victorian Women Intellectuals*, en Bernard Lightman (ed.), *Victorian Science in Context*, Chicago-Londres, University of Chicago Press, 1987, pp. 119-142. <<

[84] H. G. Wells, *The Time Machine*, 1895, Londres, Pan, 1953, p. 94. <<

[85] Pierre Duhern, citado en Iwan Rhys Moms, *When Physics Became King*, Chicago, Chicago University Press, 2005, p. 85. <<

[86] Hermann von Helmholtz, *The Interaction of Natural Forces*, en *Science and Culture: Popular and Physical Essays*, ed. David Cahan, Chicago, University of Chicago Press, 1990, p. 20. <<

[87] Citado en Zaheer Baber, *The Science of Empire: Scientific Knowledge, Civilisation, and Colonial Rule in India*, Albany, State University of New York Press, 1996, p. 254. <<

[88] Citado en Simon Schaffer, *Accurate Measurement is an English Science* en M. Norton Wise (ed.), *The Values of Precision*, Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 1995, pp. 135-172, esp. p. 136. <<

[89] John Scott Haldane, citado en Ronald Clark, *Einstein: The Life and Times*, Londres, Hodder and Stoughton, 1973, p. 412. <<

[90] Mary Shelley, *Frankenstein of The Modern Prometheus: The 1818 Text*, ed, Marilyn Butler, Oxford-New York, Oxford University Press, 1993, pp. 38-39. <<

[91] Citado de *Anthropogenie* en Nick Hopwood, *Pictures of Evolution and Charges of fraud: Ernst Haeckel's Embryological Illustrations*, Isis, n.º 97 (2006), pp. 260-301, esp. p. 291. <<

[92] Citado en Fiona Haslam, *From Hogarth to Rowlandson: Medicine in Art in Eighteenth-Century Britain*, Liverpool, Liverpool University Pres, 1996, p. 236. <<

[93] James Young-Simpson, citado en John Waller, *Fabulous Science: Fact and Fiction in the History of Scientific Discovery*, Oxford, Oxford University Press, 2002, p. 163. <<

[94] Citado en Susan Sontag, *Illness as Metaphor*, Londres, Allen Lane, 1979, p. 7. <<

[95] Mrs. Alving en Acto 2, en Henrik Ibsen, *Ghosts*, trad. Christopher Hampton, New York, Samuel French, 1983, p. 47. <<

[96] William Crookes, *Spiritualism Viewed by the Light of Modern Science*, *Quarterly Journal of Science*, n.º 7 (1870), pp. 316-321, reimpreso en Noel G. Coley y Vance M. D. Hall (eds.), *Darwin to Einstein: Primary Sources on Science and Belief*, Harlow, Longman-Open University, 1980, pp. 60-63, esp. p. 61. <<

[97] Citado en Iwan Rhys Morus, *When Physics Became King*, Chicago, Chicago University Press, 2005, p. 186. <<

[98] Citado en John Waller, *Fabulous Science: Fact and Fiction in the History of Scientific Discovery*, Oxford, Oxford University Press, 2002, p. 43. <<

[99] Citado en Abraham Pais, *Inward Bound: Of Matter and Forces in the Physical World*, Oxford-Nueva York, Oxford University Press, 1986, p. 189. <<

[100] Ernest Rutherford, *The Newer Alchemy*, Cambridge, Cambridge University Press, 1937, p. 65. <<

[101] Diario de Stanford y Berkeley de 1974, citado en Peter Galison, *How Experiments End*, Chicago-Londres, University of Chicago Press, 1987, p. 1. <<

[102] Charles Darwin, *The Descent of Man*, citado en Tim Lewens, *Darwin*, Londres-New York, Routledge, 2007, p. 216. <<

[103] James Barr, *Some Eugenic Ideals*, en *King Albert's Book: A Tribute to the Belgian King and People from Representative Men and Women throughouth the World*, citado en Nicholas Humphrey, *History and Human Nature*, *Prospect* (septiembre de 2006), p. 126. <<

[104] A. N. Studitskii, *Fly-Lovers-Man-Haters*, *Ogonek* (13 de marzo de 1949), pp. 14-16. Quisiera dar las gracias a Simon Franklin por traducir este artfculo para mi. <<

[105] Karl Vogt, citado en Roy Porter, *The Greatest Benefit to Mankind: A Medical History of Humanity from Antiquity to the Present*, Londres, HarperCollins, 1997, p. 329. <<

[106] Afirmación anonima de 1933, citado en Nelly Oudshoorn, *Beyond the Natural Body: An Archaeology of Sex Hormones*, Londres-Nueva York, Routledge, 1994, p. 93. <<

[107] Citado de *Why war?* en Ronald Clark, *Einstein: The Life and Times*, Londres, Hodder and Stoughton, 1973, p. 348. <<

[108] Bertrand Russell, *Philosophy and Politics*, en *Unpopular Essays*, Londres, Allen and Unwin, 1950, pp. 9-34, esp. p. 18. <<

[109] Citado en Richard Rhodes, *The Making of the Atomic Bomb*, Londres, Penguin, 1986, p. 89. <<

[110] Laura Fermi, *Atoms in the Family: My Life with Enrico Fermi*, Chicago, Chicago University Press, 1954, p. 173. <<

[111] Otto Frisch, citado en G. I. Brown, *Invisible Rays: The History of Radioactivity*, Stroud, Sutton, 2002, p. 125. <<

[112] J. D. Watson y F. H. C. Crick, *A Structure for Deoxy Ribose Nucleic Acid*, Nature, 171 (25 de abril de 1953), pp. 737-738. <<

[113] James D. Watson, *The Double Helix*, Londres, Penguin, 1997, p. 132. <<

[114] George Johnson, *Miss* Leavitt's Stars: *The Untold Story of the Woman Who Discovered How to Measure the Universe*, Nueva York, Norton, 2005, p. 108. <<

[115] Richard Porter, *Introductory Remarks*, *Journal of Geophysical Research, n.º 64* (1959), pp. 865-867. <<

[116] Citado en la introduction del editor a John Krige y Kai-Henrik Barth (eds.), *Global Power Knowledge: Science and Technology in International Affairs*, Chicago, Chicago Univesity Press, 2006, p. 5 (Osiris, vol. 21: *Historical Perspectives on Science, Technology, and International Affairs*). <<

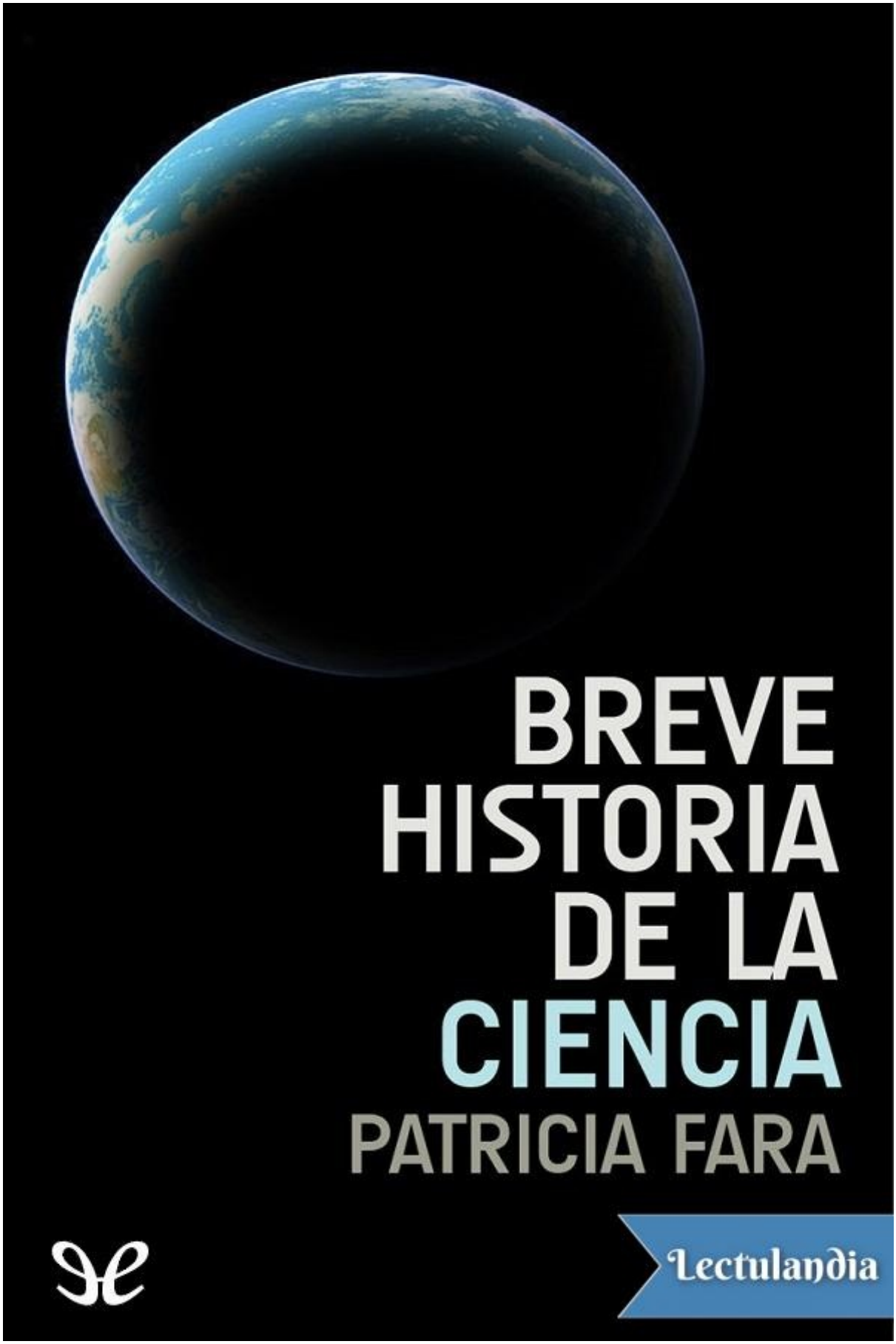
[117] Citado en Itty Abraham, *The Ambivalence of Nuclear Histories*, en Krige y Barth (eds.), Global Power Knowledge, pp. 49-65, esp. p. 62. <<

[118] Louis de Bougainville, citado en Bernard Smith, *European Vision and the South Pacific*, Melbourne, Oxford University Press, 1989, p. 42. <<

[119] Rachel Carson, *Silent Spring*, Londres, Penguin, 1999, p. 311 <<

[120] Roy Spencer, citado en D. Jones, *The Greenhouse Conspiracy*, Londres, Channel 4,1990, p. 24. <<

[121] Jorge Luis Borges, *The Analytical Language of John Wilkins*, en Other Inquisitions 1937-1952, trad. Ruth Simms, Nueva York, Washington Square Press, 1966, p. 108. <<


BREVE
HISTORIA
DE LA
CIENCIA
PATRICIA FARA
Lectulandia